

PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN

UND TECHNIK

DER ELEKTROTHERAPIE

VON F. FRANKENHÄUSER

PHYSIKALISCHE THERAPIE HERAUSGEGEBEN

VON J. MARCUSE UND A. STRASSER 7. HEFT

FERDINAND ENKE STUTTGART


LANE
MEDICAL
SEAL OF THE LELAND STANFORD JUNIOR UNIVERSITY
SEMPER VIRENS
1885
LIBRARY

PHYSIKALISCHE THERAPIE

IN EINZELDARSTELLUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON

Dr. J. MARCUSE UND **Doz. Dr. A. STRASSER**

Dirigierender Arzt der Kuranstalt Ebenhausen bei München — an der Universität Wien

UNTER MITARBEIT VON

Geh.-Rat Prof. Dr. L. BRIEGER, Berlin. Doz. Dr. A. BUM, Wien. Dr. B. BUXBAUM, Wien. Doz. Dr. H. DETERMANN, Freiburg i. B.-St. Blasien. Dr. O. FELLNER, Wien. Dr. A. FOGES, Wien. Doz. Dr. F. FRANKENHÄUSER, Berlin. Dr. R. FRIEDLÄNDER, Wiesbaden. Prof. Dr. J. GLAX, Abbazia. Doz. Dr. M. HERZ, Wien. Doz. Dr. R. KIENBÖCK, Wien. Doz. Dr. D. O. KUTHY, Budapest. Dr. A. LAQUEUR, Berlin. Doz. Dr. A. MARTIN, Zürich. Dr. S. MUNTER, Berlin. Prof. Dr. H. RIEDER, München. Prof. Dr. H. ROSIN, Berlin. Prof. Dr. G. SITTMANN, München. Doz. Dr. K. ULLMANN, Wien. Hofrat Prof. Dr. W. WINTERNITZ, Wien. Doz. Dr. J. ZAPPERT, Wien.

---

7. Heft:

Die physiologischen Grundlagen und die Technik der Elektrotherapie.

Bearbeitet von

Dr. FRITZ FRANKENHÄUSER

Privatdozent an der Universität Berlin.

Mit 150 Textabbildungen.

STUTTGART.

VERLAG VON FERDINAND ENKE.

1906.

DIE

PHYSIOLOGISCHEN GRUNDLAGEN

UND DIE TECHNIK

DER

ELEKTROTHERAPIE.

BEARBEITET VON

DR. FRITZ FRANKENHÄUSER

PRIVATDOZENT AN DER UNIVERSITÄT BERLIN

MIT 150 TEXTABBILDUNGEN.



STUTTGART.

VERLAG VON FERDINAND ENKE.

1906.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Vorwort.

Mit Dogmen und Formeln ist in der praktischen Heilkunde nichts getan. Der Arzt, der wirklich helfen will, muß nicht nur objektiv individualisieren können, er muß auch die Freiheit und die Fähigkeit erlangt haben, subjektiv individuell zu handeln.

Die vorliegende kleine Schrift soll deshalb nicht ein Nachschlagebuch sein, wo der Arzt für jeden Fall das passende elektrotherapeutische Rezept auffindet.

Sie will als Ganzes gelesen sein und verfolgt den Zweck, dem Leser ein möglichst lebendiges Bild von der allgemeinen Grundlage der Elektrotherapie vor Augen zu führen und ihn anzuregen, als Elektrotherapeut selbständig zu denken und zu handeln.

Mehr als diese Anregung konnte in so engem Rahmen nicht geboten werden.

Das kleine angehängte Literaturverzeichnis verfolgt ausschließlich den Zweck, dem Weiterstrebenden für einzelne neu erschlossene Gebiete die nächsten Wege dahin zu weisen, wo er ausführlichere Auskunft und auch weitere Wegweiser finden wird.

Es gibt noch sehr viele unerforschte Gebiete und Irrwege in der Elektrotherapie. Wer sich in ihre Probleme ernstlich vertieft, wird bald das Bedürfnis fühlen, auf eigenen Füßen weiter zu streben.

Möge die vorliegende Schrift recht viele Kollegen dazu veranlassen!

Berlin, Hydrotherapeutische Anstalt der Universität im April 1906.

F. Frankenhäuser.

Inhalt.

Seite

Vorwort 5
Die physiologischen Grundlagen der Elektrotherapie 9
A. Der galvanische Strom 10
Die chemischen und physikalischen Wirkungen des galvanischen Stromes im lebenden Gewebe 28
Die physiologischen Wirkungen des galvanischen Stromes 41
Das Verhalten der einzelnen Organe zum galvanischen Strom 45
B. Andere Stromarten 58
Die Technik der Elektrotherapie 69
A. Die elektromedizinischen Apparate 69
Stromquellen 71
Der eigentliche elektromedizinische Apparat 75
B. Die Methoden der Elektrotherapie 105
Literaturverzeichnis 119

Die Anmerkungen [[1]) u. s. w.] beziehen sich auf die Literaturangaben S. 120.

1. Kapitel.

Die physiologischen Grundlagen der Elektrotherapie.

1. Einleitung. Die Elektrotherapie bestrebt sich, auf zwei verschiedenen Wegen ihre Lehren zu begründen. Auf dem einen Wege sucht sie das Verständnis für die therapeutischen Wirkungen der Elektrizität zu gewinnen. Es geschieht dies mit Hilfe möglichst klarer Vorstellungen über das Wesen der elektrischen Vorgänge auf der einen Seite, der Lebensvorgänge auf der anderen Seite und über die Beziehungen zwischen beiden.

Auf dem anderen Wege sucht sie einwandfreie Beobachtungen über die Heilwirkungen der Elektrizität zu sammeln und zu sichten.

Auf beiden Wegen sucht sie schließlich allgemeine Regeln für die Behandlung zu gewinnen.

Beide Wege haben ihre Licht- und Schattenseiten. Beide müssen einander ergänzen und beide sind uns unentbehrlich. Das Bestreben der wissenschaftlichen Elektrotherapie wird immer dahin zielen, die Ergebnisse, die wir auf dem einen Wege gefunden zu haben glauben, auf dem anderen Wege zu bestätigen. So lange dies Ideal nicht erreicht ist, müssen wir — mit Vorbehalt — auf beiden Wegen sammeln, was uns wertvoll erscheint.

Das erstrebte Verständnis gewinnen wir am besten, wenn wir Schritt für Schritt vom Einfachen zum Schwierigen, vom Naheliegenden zum Fernerliegenden fortschreitend uns die Frage vorlegen: Welchen Einwirkungen setzen wir den menschlichen Körper aus, wenn wir Elektrotherapie treiben?

Im folgenden soll der Versuch gemacht werden, diese Frage, soweit es heutzutage möglich ist, zu beantworten. Die physikalischen Grundbegriffe der Elektrizitätslehre zu erörtern, soll nicht die Aufgabe dieser Schrift sein. Ich setze sie als bekannt voraus. Wohl aber müssen wir uns über alle Fragen, welche die Einwirkung der Elektrizität auf den menschlichen Organismus betreffen, klar werden. Wir müssen uns klar werden, was wir darüber wissen und wo unser Wissen ein Ende hat.

Den folgenden Erörterungen möchte ich zwei Leitsätze voranstellen, welche von Naturforschern stammen, die sich um die Elektrotherapie indirekt die größten Verdienste erworben haben.

„Die charakteristische Erscheinung der Elektrolyse besteht in der Verbindung von Strömungen materieller Teilchen mit Strömungen von Elektrizität, und darum dürfte sie vor allen elektrischen Phänomenen am meisten geeignet sein, uns einen Einblick in die Natur der Elektrizität zu verschaffen“ (Maxwell).

„Nach unseren bisherigen Kenntnissen kann der galvanische Strom im organischen Gewebe, also einem Leiter rein elektrolytischer Natur, keine andere Wirkung als Ionenverschiebung verursachen; wir schließen also, daß letztere die Ursache des physiologischen Effektes sein muß“ (Nernst).

Die Betrachtung des galvanischen Stromes bietet uns das einfachste und deshalb auch das klarste Bild von den Einwirkungen der Elektrizität auf das organische, lebende Gewebe. Darum soll er uns als Führer auf unseren Wegen dienen. Es wird uns verhältnismäßig leicht werden, im Anschlusse daran auch die verwickelteren Verhältnisse zu übersehen, welche durch Einwirkungen der nicht konstanten Ströme entstehen.

A. Der galvanische Strom.

2. Das Wesen des galvanischen Stromes. Die verschiedenen Ströme, welche wir in der Elektrotherapie verwenden, werden charakterisiert durch die elektrische Spannung, die an den Elektroden, also an denjenigen Teilen des Apparates herrscht, welche den Strom dem Patienten zuführen. Die galvanischen Apparate verfolgen den Zweck, an den beiden Elektroden, der Anode und der Kathode, eine konstante, also gleichmäßige Spannung zu erzeugen, die reguliert und gemessen werden kann. Wird zwischen die Elektroden ein Leiter eingeschaltet, so sind die Spannungen an den Elektroden bestrebt, sich gegeneinander auszugleichen. Da aber der Apparat die Spannungen immer von neuem herstellt, entsteht ein konstantes Fließen von Elektrizität durch den eingeschalteten Leiter hindurch: der galvanische Strom.

3. Der menschliche Körper als Leiter. Wenn ich die befeuchteten Elektroden eines solchen Apparates auf zwei beliebige Stellen der Haut meines Patienten bringe und den Apparat in Tätigkeit, d. h. die Elektroden in den Zustand konstanter elektrischer Spannung versetze, so reagiert der Patient bei genügender Spannung auf diesen Vorgang, und der Strommesser (das Galvanometer) zeigt an, daß die Elektrizität strömt. Der menschliche Körper als Ganzes betrachtet ist also ein Leiter der Elektrizität.

4. Leiter und Nichtleiter im menschlichen Körper. Es ist eine physikalisch feststehende Tatsache, daß es nur zwei Arten

von Leitern der Elektrizität gibt, nämlich die Leiter erster Klasse, die metallischen Leiter, und die Leiter zweiter Klasse, die feuchten oder elektrolytischen Leiter. Zur ersten Klasse gehören die Metalle und einige metallartigen Stoffe, zur zweiten Klasse die Lösungen der Salze.

Eine metallische Leitung ist im menschlichen Körper vollkommen ausgeschlossen, denn es kommen ja keine freien Metalle in demselben vor. Die Leitung kann also nur in den Salzlösungen, die der Körper enthält, vor sich gehen.

Die Flüssigkeiten, welche den menschlichen Körper durchsetzen, sind Leiter der Elektrizität, sind elektrolytische Flüssigkeiten.

Es ergibt sich aus diesem Satze die naheliegende Frage, ob demnach die festen, ungelösten Bestandteile des menschlichen Körpers überhaupt nicht im stande sind, den Strom zu leiten. Die Antwort auf diese Frage liegt eigentlich schon in der von der Physik festgestellten Tatsache, daß von festen Körpern nur die Metalle und einige verwandte Stoffe leiten und alle anderen Stoffe Nichtleiter der Elektrizität sind. In der Tat lehrt auch ein einfacher Versuch, daß alle wirklich trockenen Teile am lebenden Menschen, daß Haare, Nägel, Schwielen nicht im stande sind, den Strom zu leiten, ebensowenig wie absolut trocken gemachtes totes Gewebe von Muskeln, Knochen, Fett u. s. w.

Es ergibt sich hieraus der Satz:

Die Leitung der Elektrizität im menschlichen Körper erfolgt ausschließlich durch die Flüssigkeiten, welche das Gewebe durchsetzen[1].

Auf die physiologischen Flüssigkeiten müssen wir also unser Augenmerk richten, wenn wir die Beziehungen zwischen der Elektrizität und den Vorgängen im lebenden Gewebe verfolgen wollen.

5. Leitfähigkeit und Widerstand im lebenden Gewebe. Verhalten der Epidermis. Nun wissen wir aus der Physik, daß der Widerstand, den ein Leiter dem Durchgange des galvanischen Stromes entgegensetzt, proportional der Länge des Leiters und umgekehrt proportional dem Querschnitte des Leiters ist. Mit anderen Worten: Der Strom findet desto größeren Widerstand auf seinem Wege, je enger und je länger die Strombahn ist. Der Gegensatz des Widerstandes, die Leitfähigkeit des Leiters ist also umgekehrt desto größer, je breiter und je kürzer die Strombahn ist.

Da nun im lebenden Gewebe lediglich die Flüssigkeiten, mit welchen das Gewebe durchsetzt ist, als Strombahnen in Betracht kommen, so können wir zunächst einmal schließen, daß die Leitfähigkeit der lebenden Gewebe desto größer ist, je größer der Querschnitt der Flüssigkeitssäule ist, welche als Strombahn zur Verfügung steht.

Nun bietet der menschliche Körper in dieser Beziehung ganz eigenartige Verhältnisse. Das Innere des Körpers besteht aus vollständig durchfeuchteten Massen, so daß dort dem elektrischen Strome nahezu ebensowenig Widerstand entgegengesetzt wird wie von ununterbrochenen Schichten leitender Flüssigkeit.

Aber der äußere Ueberzug des Körpers, die Epidermis, ist trocken und infolgedessen ein Nichtleiter. Dieser nichtleitende, isolierende Ueberzug ist nur von spärlichen, mikroskopisch dünnen Fäden durchfeuchteten Gewebes durchsetzt, welche nach innen in der großen Flüssigkeitsmasse, nach außen frei in der Epidermis enden (Fig. 1). Es sind die Ausführungsgänge der Hautdrüsen. Ein Bild dieser Verhältnisse können wir uns machen, wenn wir die Haut der Hohlhand betrachten. Hier liegen die Verhältnisse am einfachsten, weil nur die Knäueldrüsen in Betracht kommen.

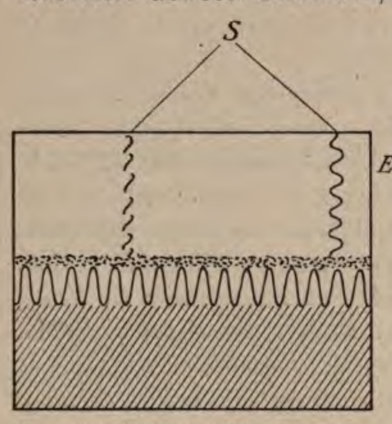
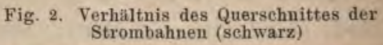


Fig. 1. Schnitt durch die Haut der Hohlhand. S Strombahn, E Epidermis.

1 qcm Haut enthält hier etwa 438 Drüsenausgänge [2]). Der Durchmesser jedes Rohres beträgt 36—48 μ, der Querschnitt demnach ca. 0,00125 qmm. Rechnen wir 400 Drüsenausgänge pro Quadratzentimeter Haut, so bekommen wir also gerade ½ qmm leitenden Querschnitt pro Quadratzentimeter Haut. Fig. 2 stellt das Verhältnis der leitenden Querschnitte der Haut und der inneren Organe graphisch dar.

Von der Haut dient also nur ein verschwindend geringer Querschnitt als Strombahn, während von den inneren Gewebsteilen der größte Teil des Querschnittes dem Strome zur Verfügung steht. Daher kommt es, daß der Widerstand der Haut gegen den Strom den Widerstand der übrigen Gewebe vollständig überwiegt. Weder der etwas verschiedenartige Flüssigkeitsgehalt der inneren Gewebsteile kommt demgegenüber wesentlich in Betracht, noch die etwas verschiedene Leitfähigkeit der einzelnen physiologischen Flüssigkeiten. Bei der perkutanen Galvanisierung kommt vielmehr als Widerstand ausschließlich der Hautwiderstand in Betracht. Der Widerstand aller anderen Gewebsteile fällt dabei nicht ins Gewicht.


Fig. 2. Verhältnis des Querschnittes der Strombahnen (schwarz)


in der Haut im Inneren des menschlichen Körpers.

Hierin liegt die Erklärung für folgendes Experiment.

Wir befestigen beide Elektroden gut befeuchtet auf den Rücken beider Hände des Patienten und setzen den Apparat in Tätigkeit, d. h. wir geben den Elektroden eine gewisse konstante Spannung. Es entsteht dann ein Strom, dessen Intensität wir am Galvanometer ablesen können. Diese Intensität ist nach dem Ohmschen Gesetz $\left(J = \frac{E}{W}\right)$ proportional der Spannung der Elektroden und umgekehrt proportional dem Widerstande, welchen der menschliche Körper unter den gegebenen Verhältnissen bietet.

Presse ich nun die beiden befeuchteten Handflächen dicht aufeinander, so vergrößert sich die Intensität des Stromes nicht. Ich kann daraus schließen, daß der Widerstand des Körpers sich nicht vermindert hat. Nun mußte zu Beginn des Versuches der Strom den Weg durch die Haut beider Handrücken und quer durch den Körper hindurch von einer Hand bis zur anderen nehmen. Nach dem Aneinanderpressen beider Handflächen wäre die Möglichkeit gegeben, daß der Strom auf einem ungefähr 25mal kürzeren Wege unmittelbar von Hand zu Hand ginge. Auf diesem Wege müßte aber der Strom die Epidermis 4mal durchsetzen; dieser Weg kommt also gegenüber dem 25mal längeren nicht wesentlich in Betracht, weil eben gegenüber dem großen Widerstande der kurzen Epidermisstrecken der Widerstand der langen Strecken innerer Gewebsteile vollkommen zurücktritt.

Ganz anders verhält sich die Stromintensität, wenn ich, ohne die Spannung der Elektroden zu ändern, nun die eine Elektrode vom Handrücken abnehme und mit einer Schleimhaut, z. B. der Zunge, verbinde. Dann steigt die Stromintensität ganz beträchtlich, weil nun der große Widerstand der einen Epidermis ausgeschaltet ist.

Eine noch viel größere Intensität erhalte ich, wenn ich beide Elektroden mit Schleimhaut in Berührung bringe. Denn jetzt ist der große Widerstand der Epidermis ganz ausgeschaltet und es kommt vorwiegend der Widerstand der Schleimhaut und des Körperinnern in Betracht.

Bringe ich eine knopfförmige Elektrode und eine solche von 2 cm Durchmesser wohl durchfeuchtet mit 5 Volt Spannung außen auf die Wangenhaut, so erhalte ich z. B. eine Intensität von 1 Milliampere (Widerstand = 5000 Ω). Bringe ich nun die Knopfelektrode auf die Schleimhaut innen an der Wange, so erhalte ich eine Intensität von 2 Milliampere (Widerstand = 2500 Ω). Bringe ich beide Elektroden an die Schleimhaut, so erhalte ich eine Intensität von ca. 3 Milliampere (Widerstand = 1666 Ω).

Der Widerstand der Epidermis ist an verschiedenen Stellen sehr verschieden. Auch das hat seinen Grund in der eigentümlichen Gestaltung der

Strombahn. Die Leitfähigkeit einer gegebenen Hautstrecke ist proportional dem Querschnitt der fadenförmigen Strombahnen, welche dieses Stück bietet. Daher leitet die Haut desto besser, je mehr Drüsenausgänge sie besitzt und je mehr sie durchfeuchtet ist, weil dann die Strombahn an der Eintrittsstelle wesentlich verbreitert wird.

Die Leitfähigkeit eines gegebenen Hautstückes ist aber umgekehrt proportional der Länge $\left(W = \frac{Q}{L}\right)$ dieser fadenförmigen Strombahnen. Der Widerstand muß also desto größer sein, je dicker die Epidermis.

Die Tatsachen bestätigen diese Voraussetzungen. Den geringsten Widerstand zeigen dünne schweißige Hautstellen der Gelenkbeugen, den größten, fast unüberwindlichen Widerstand schwielige Hautpartien, insbesondere an den Händen.

So fand ich bei Verwendung einer großen indifferenten Elektrode und einer kleineren Elektrode von 21 cm Durchmesser bei 10 Volt Spannung, wenn ich letztere auf die Hohlhand eines Gesunden brachte, 0,9 Milliampere (Widerstand = 11111 Ω), wenn ich sie auf den Unterarm brachte, 3,9 Milliampere (Widerstand = 2564 Ω), wenn ich sie in die Achselhöhle brachte, 9,0 Milliampere (Widerstand = 1111 Ω).

Die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes $J = \frac{E}{W}$ unterliegt aber im menschlichen Körper einer gewissen Einschränkung. Das hat seinen Grund darin, daß der Körper ein Leiter von sehr großer Oberfläche ist, welcher eine beträchtliche Elektrizitätsmenge als Ladung aufzunehmen vermag. Mit anderen Worten: Der menschliche Körper ist ein Leiter mit großer Kapazität.

Infolgedessen muß man zwei Perioden unterscheiden, wenn man einen galvanischen Strom durch den Körper schließt. In der Periode des variablen Zustandes fließen in kurzer Zeit verhältnismäßig große Elektrizitätsmengen aus den Elektroden in den Körper und laden diesen. Es entsteht in diesem Augenblick infolge der großen Kapazität des Körpers eine beträchtlich größere Stromintensität, als dem Ohmschen Gesetze entspricht. In der Periode des stationären Zustandes hat der Körper seine Ladung vollendet und es entsteht nun ein geregeltes Zu- und Abströmen, welches ausschließlich dem Ohmschen Gesetze unterliegt.

Infolgedessen ist im variablen Zustande der Widerstand des Körpers scheinbar (nämlich wenn wir das Ohmsche Gesetz zu Grunde legen) viel geringer als im stationären Zustande. Ist die Anwendung des Ohmschen Gesetzes auf den variablen Zustand demnach auch nicht ganz korrekt, so gibt sie uns doch vergleichbare Werte. So betrug z. B. bei

einem normalen Menschen der nach dem Ohmschen Gesetze berechnete Widerstand im variablen und im stationären Zustande:

	Stationär	Variabel
Nacken und Stirn . . .	1663 Ω	450 Ω
Oberarm, Vorderarm . .	3185 Ω	400 Ω
Beide Hohlhände	28 615 Ω	1500 Ω
Beide Fußsohlen	10 457 Ω	2000 Ω

bei Elektroden von 64 qcm Fläche und 4,2 Volt Spannung [9]).

6. Die Stromdichte in der Epidermis. Der eigentümliche Gegensatz zwischen der Epidermis und den inneren Gewebsteilen in ihrer Eigenschaft als Strombahnen ist aber nicht nur für den elektrischen Widerstand von Bedeutung. Praktisch viel wichtiger noch ist der Einfluß, welchen er auf die Wirkungen des Stromes ausübt.

Wenn Erfahrung und Ueberlegung lehren, daß die Wirksamkeit eines Stromes desto größer ist, je größer seine Intensität, so können wir schließen, daß die örtliche Wirksamkeit desto größer sein wird, je größer die örtliche Intensität, die Dichte des Stromes ist. Denn es kann für die Wirkung z. B. auf die Haut nicht gleichgültig sein, ob ein Strom, welcher die Intensität von 20 Milliampere (M-A) hat, seine Wirksamkeit auf eine Strombahn von 1 oder von 20 qcm Durchschnitt verteilt. Die Wirkung wird im ersteren Falle stärker sein als im letzteren. Für die physiologischen Wirkungen spielt also die Stromdichte, das ist die Stromintensität dividiert durch den Querschnitt des Leiters $\left(\frac{J}{Q} = D\right)$, eine wesentliche Rolle.

Die Stromdichte ist, gerade so wie der Widerstand, im menschlichen Körper dem Querschnitt der Strombahn umgekehrt proportional.

Der Strom erfährt also in der Haut nicht nur einen Widerstand, welcher den Widerstand der inneren Gewebsteile bei weitem überwiegt. Er wird in der Haut auch auf eine Dichte gebracht, welche die Stromdichte in den inneren Gewebsteilen ebenso überwiegt. Die Strombahnen in der Haut sind bei perkutaner Elektrisierung also einer viel intensiveren Einwirkung des Stromes ausgesetzt als alle anderen Teile des lebenden Gewebes.

Es ist außerordentlich wichtig, sich diese Tatsache genau einzuprägen. Wir haben mit ihr in der Elektrotherapie sehr viel zu rechnen, da die Mehrzahl elektrotherapeutischer Behandlungen perkutan vorgenommen wird. Sie lehrt uns, daß es leicht ist, die Haut durch den Strom zu beeinflussen. Da aber die Haut ziemlich sensibel ist, und

außerdem bei Anwendung des galvanischen Stromes auch, wie wir sehen werden, elektrochemischen Einflüssen besonders ausgesetzt ist, bietet sie häufig ein Hindernis, auf innere Organe intensiv einzuwirken.

7. Mittel, um die Zusammendrängung des Stromes in der Epidermis zu mildern. Die Zusammendrängung des Stromes auf einen außerordentlich kleinen Querschnitt in der Epidermis hat also zwei Erscheinungen im Gefolge. Erstens einen sehr hohen Widerstand der Haut. Dieser wird bisweilen als Uebelstand empfunden, nämlich dann, wenn der elektrische Apparat nur eine geringe Spannung an den Elektroden zu erzeugen vermag. Für kräftige Apparate kommt dieser Uebelstand wenig in Betracht, da man ja durch genügende Spannung der Elektroden — trotz des großen Widerstandes der Epidermis —, Ströme von genügender Intensität herzustellen vermag.

Zweitens hat die Zusammendrängung eine große Stromdichte in der Haut zur Folge. Diese ist uns willkommen, wenn wir auf die Epidermis selbst oder auf Gebilde, welche nahe unter ihr liegen, möglichst intensiv einwirken wollen. Sie ist unwillkommen, wenn der Zweck der Elektrisierung der ist, den inneren Gewebsteilen große Stromintensitäten zuzuführen.

In diesen Fällen sucht man die Epidermis zu umgehen, indem man ein oder beide Elektroden auf Schleimhaut, Mastdarm, Vagina, Zunge etc. bringt.

Entspricht diese Anordnung nicht dem Zwecke, den man verfolgt, so versucht man, die Zusammendrängung des Stromes in der Epidermis möglichst einzuschränken.

Man befeuchtet die Elektroden [diese Befeuchtung hat aber, wie wir unten (S. 29) sehen werden, noch einen anderen wesentlichen Zweck] und drückt sie kräftig auf, so daß die obersten, trockensten Schichten der Epidermis durchfeuchtet werden, und ein möglichst inniger Kontakt zwischen den Elektroden und den Strombahnen der Haut entsteht. Der Widerstand und die Empfindlichkeit der Haut lassen sich hierdurch ganz wesentlich herabdrücken, ein Zeichen, daß auch die Stromdichte herabgesetzt ist. So beobachtete ich bei Anwendung zweier kleiner feuchter Elektroden mit 25 Volt Spannung an dem rauhen Handrücken eines Arbeiters zu Beginn der Sitzung 0,4 M-A. Nach einigen Minuten war bei kräftigem Aufdrücken der feuchten Elektroden die Intensität auf 10 M-A gestiegen, der Widerstand also von 62500 Ω auf 2500 Ω gesunken!

Ein wirksameres Mittel wurde früher öfter geübt, und auch von Humboldt empfohlen: Die Epidermis wird durch ein Zugpflaster entfernt, und die Elektrode auf die entblößte Kutis gebracht. Hierdurch wird das wesentlichste Hindernis für den Strom allerdings entfernt; die

Methode hat aber doch so viele naheliegende Nachteile, daß sie heutzutage fast ganz verlassen ist.

Ebenso hat die subkutane Anwendung des Stromes durch Einstechen nadelförmiger Elektroden unter die Haut wegen der eigenartigen chemischen Wirkungen, die noch besprochen werden (Elektropunktur S. 32), nur ein beschränktes Anwendungsgebiet.

Das gebräuchlichste und harmloseste Mittel, die Zusammendrängung des Stromes in der Haut herabzusetzen, ist neben der Durchfeuchtung der Elektroden die Verwendung möglichst großer Elektroden. Dadurch bekommen wir möglichst viele der fadenförmigen Leitungen der Epidermis in die Strombahn, der Durchschnitt der letzteren wird also ein möglichst großer. Die Zusammendrängung des Stromes nimmt ungefähr proportional zur Fläche der Elektrode ab. Allerdings wird dadurch die Tatsache, daß der Strom in der Epidermis ganz enorm zusammengedrängt wird, und werden deren Folgen nur gemildert und nicht beseitigt. Denn wir können nicht Elektroden anwenden, deren Querschnitt 200 mal größer ist als derjenige der Strombahn im Innern des Körpers (s. oben Fig. 2).

8. Was ist der galvanische Strom im lebenden Gewebe? Wir haben bisher, dem Brauche folgend, von dem galvanischen „Strom" gesprochen. Dabei ist die stillschweigende Voraussetzung gemacht, daß unsere elektrischen Apparate tatsächlich im stande seien, im menschlichen Körper eine Strömung hervorzurufen, welche nach ähnlichen Gesichtspunkten behandelt werden kann wie eine Strömung von Wasser, deren Gefälle, Intensität, Strombreite, Stromlänge u. s. w. wir beobachten und messen können.

In der Tat ist der Vergleich der galvanischen Erscheinungen mit Wasserströmen ein Bild, das sehr oft mit Vorteil gebraucht werden kann, und das wir auch weiter gebrauchen wollen, um durch Anknüpfung an altbekannte Erscheinungen die elektrischen Vorgänge vor unseren Augen lebendig werden zu lassen.

Wir dürfen aber, wenn wir dieses Bild gebrauchen, nie vergessen, daß es nur ein Gleichnis ist, welches uns gerade über das Eigentümliche und Wesentliche der elektrischen Vorgänge im lebenden Gewebe gar keine Auskunft gibt.

Um von der Eigenart galvanischer Ströme im lebenden Gewebe eine klare Vorstellung zu bekommen, müssen wir den Fragen auf den Grund gehen:

„Erzeugen wir wirklich beim Galvanisieren einen ‚Strom' im menschlichen Körper?" und wenn diese Frage zu bejahen ist, folgt die weitere Frage:

„Was strömt beim Galvanisieren im menschlichen Körper und wie haben wir uns dieses Strömen vorzustellen?"

Um auf diese Fragen Antwort zu bekommen, müssen wir uns an diejenige Wissenschaft wenden, welche den elektrischen Vorgängen in feuchten Leitern ihre besondere Aufmerksamkeit zugewandt hat: Die Elektrochemie. Sie wird uns nicht nur beide Fragen zugleich beantworten, und uns damit überhaupt erst ein klares Bild von den Vorgängen geben, welche wir im Organismus auslösen, wenn wir ihn mit den gespannten Elektroden berühren; sie wird es uns auch leicht machen, eine ganze Reihe von Einzelfragen, welche sich an diese Hauptfragen anschließen, selbst zu beantworten.

Die Elektrochemie führt den galvanischen Strom in feuchten Leitern ganz allgemein auf eigentümliche Strömungen bestimmter Bestandteile dieser Leiter zurück. Diese Auffassung ergibt sich aus den neuerdings gewonnenen Kenntnissen über die chemische Zusammensetzung der Lösungen.

9. Die heutigen Anschauungen von der elektrochemischen Zusammensetzung der Lösungen. Man nahm früher an, daß bei der Lösung eines Salzes, z. B. des Kochsalzes (NaCl), in einem Lösungsmittel, z. B. Wasser (H_2O), keine besonderen chemischen Reaktionen vor sich gehen, daß diese Lösung ein rein physikalischer Vorgang sei, und daß man es nach wie vor in der Lösung nur mit zwei chemischen Stoffen zu tun habe, mit Kochsalz und Wasser.

Eine ganze Reihe von Erscheinungen, auf welche wir hier nicht näher eingehen können (vergl. die angeführten Schriften über Elektrochemie), haben uns jedoch belehrt, daß früher ein wesentlicher Faktor bei diesen Vorgängen übersehen worden ist.

Es hat sich herausgestellt, daß neben den früher bekannten Molekülen noch eine bisher unbekannte Art von Molekülen vorhanden ist. Das sind die Elektronen.

Die Elektronen müssen wir uns als einwertige chemische Elemente von ganz verschwindend geringem Gewichte vorstellen, welche eine elektrische Ladung haben, die für chemisch äquivalente Mengen konstant ist. Und zwar gibt es zweierlei Elektronen, solche mit positiver Ladung, die wir Katelektronen nennen und mit dem chemischen Symbol ⊕ bezeichnen; und solche mit negativer Ladung, welche wir Anelektronen nennen und mit dem chemischen Symbol ⊖ bezeichnen. Infolge ihrer elektrischen Ladung unterliegen die Elektronen dem Coulombschen Gesetz, welches besagt, daß Körper mit gleichnamiger elektrischer Ladung einander abstoßen, Körper mit ungleichnamiger elektrischer Ladung einander anziehen mit einer Kraft, welche den Elektrizitätsmengen der Ladung direkt, dem Quadrate der Entfernung zwischen den Körpern indirekt proportional ist.

Ob eine chemische Verbindung zwischen Anelektron und Kat-

elektron (⊕⊖ = elektrisch-neutrales Molekül von ganz verschwindend geringem Gewicht) vorkommt, läßt sich noch nicht bestimmt sagen. Ein mit solchen Molekülen erfüllter Raum müßte von verschwindend geringem Gewicht, elektrisch nicht leitend, aber elektrisch polarisierbar sein, d. h. Eigenschaften besitzen, wie die Physik sie für den Lichtäther in Anspruch nimmt. Diese Betrachtung gibt uns einen Fingerzeig über die mögliche Herkunft der Elektronen.

Jedenfalls kommen die Elektronen in unseren Lösungen nicht frei vor. Sie gehen aber chemische Verbindungen mit anderen Elementen und Molekülen ein.

Solche Verbindungen entstehen jedesmal, wenn Salze, Säuren, Laugen und Stoffe, welche eine analoge chemische Zusammensetzung besitzen, kurz, wenn Elektrolyte sich in Wasser lösen.

Und zwar verbindet sich das Katelektron jedesmal mit dem Metallradikal der Salze (z. B. Na ⊕) beziehungsweise dem Wasserstoffradikal der Säuren (H ⊕). Das Anelektron verbindet sich mit dem Säureradikal der Salze (z. B. ⊖Cl, $\ominus_2 SO_4$) beziehungsweise dem Hydroxylradikal der Laugen (⊖OH).

Die elektrochemischen Reaktionen gehen also z. B. folgendermaßen vor sich:

$$NaCl + \oplus\ominus = Na\oplus + \ominus Cl$$

$$\text{Kochsalz} + \left\{\begin{matrix}\text{Katelektron}\\ \text{Anelektron}\end{matrix}\right. = \text{Natriumion} + \text{Chlorion.}$$

$$NaOH + \oplus\ominus = Na\oplus + \ominus OH$$

$$\text{Natriumhydrat} + \left\{\begin{matrix}\text{Katelektron}\\ \text{Anelektron}\end{matrix}\right. = \text{Natriumion} + \text{Hydroxylion.}$$

$$HCl + \oplus\ominus = H\oplus + \ominus Cl$$

$$\text{Salzsäure} + \left\{\begin{matrix}\text{Katelektron}\\ \text{Anelektron}\end{matrix}\right. = \text{Hydrogenion} + \text{Chlorion.}$$

Diese neuen Verbindungen heißen Ionen und zwar heißen Anionen die Verbindungen des Anelektrons (⊖), Kationen die Verbindungen des Katelektrons (⊕).

Die Ionen verhalten sich wie gesättigte chemische Verbindungen. So zeigt das Chlorion nicht die chemischen Eigenschaften des Chlorgases, sondern die Eigenschaften und Reaktionen der Chloride. Das Natriumion zeigt nicht die chemischen Eigenschaften des Natriummetalls, sondern die Eigenschaften und Reaktionen eines Natriumsalzes. Das Hydrogenion zeigt nicht die chemischen Eigenschaften des Wasserstoffgases, sondern die Eigenschaften und Reaktionen einer Säure (H ⊕, HCl, H_2SO_4, HNO_3). Und das Hydroxylion zeigt die chemischen Eigenschaften und Reaktionen einer Lauge (⊖OH, NaOH, $Ca(OH)_2$).

Die Bildung der Ionen bei der Auflösung von Elektrolyten nennen wir die *Dissoziation der Elektrolyte in der Lösung.*

Es dissoziiert sich aber bei der Lösung nicht die ganze Masse des gelösten Elektrolyten. Je konzentrierter die Lösung ist, ein desto geringerer Prozentsatz des Elektrolyten wird dissoziiert. Je mehr die Lösung verdünnt wird, ein desto größerer Prozentsatz des Elektrolyten wird dissoziiert.

10. *Die elektrochemische Zusammensetzung der Körpersäfte.* In den Lösungen der menschlichen Säfte ist die Dissoziation eine sehr weitgehende.

Diese Säfte enthalten im Wasser gelöst neben Eiweißstoffen, Harnstoff, Zucker u. dergl. durchweg sehr reichlich *Salze* und zwar vorwiegend *Kochsalz*, außerdem in kleinen Mengen Salze des Kaliums, Calciums, Magnesiums, Eisens, der Kohlensäure, Phosphorsäure und Schwefelsäure u. s. w.

Nun wissen wir, daß in einer 0,9 prozentigen Kochsalzlösung (physiologischer Kochsalzlösung) schon mehr als 80 Prozent des Salzes dissoziiert, also in Natriumion ($Na\oplus$) und Chlorion ($\ominus Cl$) zerlegt sind. Die anderen Salze, welche nur in viel stärkerer Verdünnung in den menschlichen Säften vorhanden sind, müssen bis auf unmerkliche Spuren vollkommen in die Ionen Kaliumion ($K\oplus$), Calciumion ($Ca\oplus_2$), Magnesiumion ($Mg\oplus_2$), Eisenion ($Fe\oplus_2$), Karbonation ($\ominus_2 CO_3$), Sulfation ($\ominus_2 SO_4$), Phosphation ($\ominus_3 PO_4$) zerlegt sein.

Durch ihre Verbindung mit den Elektronen haben nun aber die Ionen auch die charakteristische Eigenschaft jener übernommen: die elektrische Ladung. Alle Anionen haben eine negative, alle Kationen eine positive elektrische Ladung. Und zwar haben chemisch äquivalente Mengen äquivalente Elektrizitätsmengen gebunden.

Und damit verfallen die Ionen ebenso wie die Elektronen dem *Coulombschen Gesetz.* Sie sind wie diese der elektrischen Anziehung und Abstoßung unterworfen.

Durch diese Eigenschaften werden die Ionen zu den Trägern, und zwar zu den alleinigen Trägern der elektrischen Ströme im lebenden Gewebe.

11. *Die molekulare Wirkung der Elektroden auf das lebende Gewebe.* Wenn ich die Elektroden eines galvanischen Apparates mit einem feuchten Leiter in Verbindung bringe, so wirkt nach dem Coulombschen Gesetze die positiv geladene Anode anziehend auf die negativ geladenen Anionen, abstoßend auf die positiv geladenen Kationen. Die negativ geladene Kathode wirkt umgekehrt anziehend auf die positiv geladenen Kationen, abstoßend auf die negativ geladenen Anionen. Die Folge ist eine gleichmäßige Bewegung der gesamten Masse der Kationen nach der

Kathode zu, und der gesamten Masse der Anionen nach der Anode zu. Diese Bewegung wird geregelt durch die abstoßenden und anziehenden Kräfte der Elektroden, also durch die *Spannung* der Elektroden einerseits, und durch die Reibung, welche die Ionen in der Flüssigkeit zu überwinden haben, also den elektrischen *Widerstand* der Flüssigkeit anderseits. Man nennt diesen Vorgang *Elektrolyse*.

Dieses Wandern der Anionen der Körpersäfte nach der Anode zu und das Wandern der Kationen der Körpersäfte nach der Kathode zu ist der galvanische Strom im lebenden Gewebe. Es ist nicht eine Begleiterscheinung, eine Folge oder eine Wirkung des Stromes, es ist der Strom selbst.

Wir können also jetzt die uns in Absatz 8 gestellten Fragen klar beantworten: „Erzeugen wir wirklich beim Galvanisieren einen ‚Strom‘ im menschlichen Körper?“ Ja; richtiger gesagt, wir erzeugen gleichzeitig zwei entgegengesetzte Ströme.

„Was strömt beim Galvanisieren im menschlichen Körper und wie haben wir uns dieses Strömen vorzustellen?“ Nicht die Flüssigkeit strömt, sondern die Bestandteile der Salze strömen durch die Flüssigkeit. Und zwar strömen die Metallradikale der Salze in Ionenform ($Na\oplus$, $H\oplus$, $Ca\oplus_2$, $Mg\oplus_2$, $Fe\oplus_2$) in der Richtung nach der Kathode und gleichzeitig die Säureradikale ($\ominus Cl$, $\ominus_2 CO_3$, $\ominus_2 SO_4$, $\ominus_3 PO_4$) in der Richtung nach der Anode. Die nichtelektrolytischen Bestandteile der Säfte: das Eiweiß, der Harnstoff u. s. w. nehmen an dieser Bewegung ebensowenig teil wie die große Masse des Wassers.

12. *Die Beteiligung der einzelnen Bestandteile des Gewebes am galvanischen Strom. Verteilung des Stromes im Raume des menschlichen Körpers.* Wie gestaltet sich nun unter diesem Gesichtspunkt betrachtet die Beteiligung der einzelnen Elemente des menschlichen Körpers am Strome?

Zunächst sei nochmals hervorgehoben, daß nur die *Elektrolyte*, also die Salze des Körpers, bei diesen Vorgängen in zwei entgegengesetzten Richtungen verschoben werden. Alle anderen Stoffe, welche die Hauptmasse des menschlichen Körpers bilden, bleiben hiervon unberührt. Die Elektrolyte wandern *in* ihnen, nicht *mit* ihnen. Das Wasser ist zwar auch ein Elektrolyt; es ist jedoch zu einem so geringen Teile dissoziiert (ungefähr im Verhältnis 1 : 1000000), daß die große Masse des Wassers auch nur als elektrisch *neutrale* Flüssigkeit in Betracht kommt. Das Wasser ist also hauptsächlich das Medium, in welchem sich die Elektrolyte bewegen, in ähnlicher Weise wie dies bei der Diffusion geschieht. Diese Bewegung erfaßt aber nur den *dissoziierten* Teil der Elektrolyte, der nicht dissoziierte Teil derselben, also etwa 20 Prozent des Kochsalzes, verhält sich elektrisch neutral. Die übrigen 80 Prozent

Kochsalz und die Salze, welche in geringeren Mengen vorhanden sind, und die wir als vollständig dissoziiert betrachten, geraten überall da in Fluß, wo sie sich im Machtbereiche gespannter Elektroden befinden.

Die Art der Bewegung, in welche die Ionen geraten, ist abhängig von der Stärke und Richtung der einwirkenden elektromotorischen Kraft einerseits und von dem Reibungswiderstand, welcher der Bewegung der Ionen sich entgegenstellt, anderseits. Der Reibungswiderstand, welchen die Ionen bei ihrer Wanderung durch das lebende Gewebe erfahren, ist gleichbedeutend mit dem elektrischen Widerstande des lebenden Gewebes.

Das Ergebnis der Einwirkung beider Elektroden auf jedes elektrisch geladene Molekül innerhalb des Stromgebietes ergibt sich aus dem Parallelogramm der Kräfte; hierbei ist zu beachten, daß die Anziehung beziehungsweise Abstoßung, welche die Elektrode auf das betreffende Molekül ausübt, umgekehrt proportional zum Quadrate der Entfernung zwischen der Elektrode und dem Molekül ist.



Fig. 3.
Wirkung des Parallelogramms der Kräfte auf ein Anionmolekül. *K* Wirkung der Kathode. *A* Wirkung der Anode. *R* Resultierende.

Liegt z. B. ein Anion, sagen wir ein Chlorionmolekül, in der Verbindungslinie beider Elektroden, so summieren sich die anziehende Kraft der Anode und die abstoßende Kraft der Kathode, da sie in derselben Richtung wirken. Die Summe dieser beiden Kräfte ist auf dieser Linie am größten nahe an den beiden Elektroden, am kleinsten in der Mitte zwischen denselben. Die Geschwindigkeit, welche die Ionen erhalten, also auch die örtliche Intensität, die Dichte des Stromes, wird daher auf dieser Linie am größten an den Elektroden sein und nach der Mitte zu abnehmen.

Liegt das Chlorionmolekül außerhalb der Verbindungslinie beider Elektroden (Fig. 3), so ergibt sich die Richtung und Geschwindigkeit als Resultierende aus dem Parallelogramm der Kräfte. Die Geschwindigkeit fällt desto größer aus, je näher das Molekül an einer der beiden Elektroden liegt, und je näher es der Verbindungslinie beider Elektroden liegt. Die Stromdichte nimmt also von den Elektroden aus in allen Richtungen nach dem Körperinnern zu ab.

13. Die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen. Da nun alle Ionen, welche das menschliche Gewebe enthält, also z. B. $\ominus Cl$, $\ominus_2 CO_3$, $Na\oplus$, $K\oplus$, $Ca\oplus_2$ u. s. w., an äquivalente Gewichtsmengen äquivalente Mengen von Elektronen, also von elektrischer Ladung, gebunden

haben, so erhält auch jedes Molekül eines Ions denselben Bewegungsimpuls von der elektromotorischen Kraft wie jedes Nachbarmolekül.

Es würden also an derselben Stelle der Strombahn alle verschiedenen Ionen auch mit derselben Geschwindigkeit wandern, wenn nicht die Widerstände, welche die verschiedenen Ionen zu überwinden haben, verschieden wären. Diese Widerstände beruhen, wie wir gesehen haben, auf der Reibung, welche die wandernden Ionen an den nicht elektrischen Massen ihrer Umgebung, in erster Linie also an dem Wasser, in welchem sie gelöst sind, erleiden. Diese Reibung ist c. p. desto größer, je größer der Umfang des einzelnen Moleküls ist. Infolgedessen ist die Wanderungsgeschwindigkeit verschiedener Ionen verschieden. Sie sinkt bei elementaren Ionen (H⊕, Na⊕, ⊖Cl), wenn das Atomgewicht wächst und bei zusammengesetzten Molekülen (⊖OH, $\ominus_2SO_4$) sinkt sie in der Regel, wenn die Atomzahl wächst. Der Widerstand, welchen der feuchte Leiter dem galvanischen Strome bietet, ist nichts anderes als die Summe der Reibungswiderstände, welche die verschiedenen Ionen auf ihrer elektrolytischen Wanderung erfahren. Der Gegensatz des Widerstandes, die Leitfähigkeit eines feuchten Leiters $\left(\lambda = \frac{1}{W}\right)$ ist das Ergebnis der Wanderungsgeschwindigkeit seiner Ionen. Die relative Wanderungsgeschwindigkeit $\left(\text{ausgedrückt in } \frac{1}{\text{Ohm}}\right)$ der einzelnen Ionen, welche uns interessieren, in Wasser bei 18° C. ist, um einige Beispiele zu nennen, folgende:

Na⊕ = 42, ⊖Cl = 63
K⊕ = 61, ⊖Br = 64
Li⊕ = 28, ⊖I = 64
H⊕ = 315, ⊖OH = 166

14. Die absolute Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen. Diese Zahlen geben uns zwar ein Bild davon, mit welcher relativen Geschwindigkeit die verschiedenen Ionen unseres Körpers sich an der elektrolytischen Wanderung beteiligen, wenn wir galvanisieren. Sie sagen uns z. B., daß das Natriumion (Na⊕) unserer Körpersäfte sich um 42 μ in der Richtung nach der Kathode bewegt, während c. p. das Chlorion (⊖Cl) sich in derselben Zeit um 63 μ in umgekehrter Richtung bewegt.

Welche absolute Geschwindigkeit erreichen aber diese Stoffe unter gegebenen Verhältnissen innerhalb unseres Körpers?

Genaue Angaben über die tatsächlichen Geschwindigkeiten, wie sie für den menschlichen Körper gültig sind, haben wir zur Zeit noch nicht, wir können uns aber doch ein Bild machen, das einigermaßen zutrifft, wenn wir rein physikalische Erfahrungen zu Hilfe nehmen.

Tauchen wir die Elektroden von 1 qcm Querschnitt in eine Kochsalzlösung und geben wir ihnen eine Spannung von 1 Volt pro Zentimeter Abstand, so haben wir Verhältnisse, welche wohl mit der Anwendung des galvanischen Stromes in der Elektrotherapie vergleichbar sind. Unter diesen Verhältnissen legt das Na⊕ 0,0045 mm, das ⊖Cl 0,0069 mm in der Sekunde zurück. Andere Ionen haben z. B. folgende Geschwindigkeiten:

K⊕	= 0,0066	mm/sek.
Li⊕	= 0,0036	„
H⊕	= 0,0320	„
⊖OH	= 0,0181	„

Diese Geschwindigkeiten erscheinen für den ersten Augenblick sehr gering. Man kann sich aber leicht klar machen, daß bei längerer Stromdauer sehr merkliche Verschiebungen zu stande kommen. Lassen wir z. B. einen derartigen Strom 10 Minuten lang einwirken, so beträgt die Weglänge das 600fache, also für Na⊕ 2,7 mm und für ⊖Cl 4,14 mm, für H⊕ 19,2 mm und für ⊖OH 10,86 mm. Es sind das für das Konglomerat mikroskopisch kleiner Zellen, aus welchen das lebende Gewebe besteht, gewaltig große Strecken. Diese Betrachtung zeigt uns z. B., daß wir unter den gegebenen Verhältnissen die menschliche Haut in 10 Minuten mit H⊕, also einer Säure, vollkommen bis zur Tiefe von nahezu 2 cm inprägnieren können. Dem entspricht die Tatsache, daß die Haut vollkommen verätzt wird, wenn wir in dieser Weise Säuren von der Anode aus elektrochemisch einwirken lassen. Ganz ähnlich wirken Laugen von der Kathode aus. Die Metall- und Alkaloidionen (z. B. Hg⊕, Kokain⊕) und die anorganischen und organischen Säureionen (z. B. ⊖J, ⊖Br, $\ominus_2SO_4$, ⊖Salizylat) bewirken entsprechende spezifische Reaktionen von der Anode (⊕) oder der Kathode (⊖) aus.

15. Das Faradaysche Gesetz in der Elektrotherapie. Es bleibt uns noch eine sehr wichtige Frage aus diesem Ideenkreise zu beantworten: Welche Gewichtsmengen von Ionen durchdringen das Gewebe durch Elektrolyse unter gegebenen Verhältnissen?

Da die Elektronen einwertige chemische Elemente sind und jedes Elektron dieselbe Menge von Elektrizität trägt, müssen mit gleichen Strommengen auch chemisch äquivalente Mengen der Verbindungen der Elektronen — und das sind die Ionen — die Strombahn passieren. Das ist das Faradaysche Gesetz.

Bei einer Stromstärke von ca. 100000 (genauer 96540 = 1 F.) Ampere scheiden sich in der Sekunde je 1 Grammäquivalent Kationen (z. B. 1 g H⊕, 23 g Na⊕) an der Kathode und Anionen (z. B. 17 g ⊖OH, 35,5 g ⊖Cl) an der Anode ab. Jeder Querschnitt des Leiters wird also

bei diesem Vorgange von durchschnittlich je 1 Grammäquivalent der Anionen und Kationen passiert. Die einzelnen Ionen beteiligen sich daran einerseits je nach den Mengenverhältnissen, in welchen sie in der Lösung vorhanden sind, anderseits je nach ihrer spezifischen Wanderungsgeschwindigkeit. So kann man berechnen, daß unter den angenommenen Verhältnissen in einer reinen Kochsalzlösung 0,83 Grammäquivalent (= 0,83 . 23 = 21,09 g) Na⊕ in der einen Richtung und gleichzeitig 1,17 Grammäquivalent (= 1,17 . 35,5 = 41,5 g) ⊖Cl in der anderen Richtung jeden Querschnitt des feuchten Leiters pro Sekunde passieren würden.

In der Elektrotherapie rechnen wir bei weitem nicht mit so starken Strömen. Ein Ampere würde nur den hunderttausendsten Teil dieser Menge und ein Milliampere gar nur den tausendmal hunderttausendsten Teil durch den Querschnitt der Strombahn senden. Wir kommen so wieder zu ganz außerordentlich kleinen Werten. Doch auch diese verlieren ihre scheinbar unfaßbare Kleinheit, wenn wir bedenken, daß sie sich während der Stromdauer multiplizieren. Denken wir uns z. B. 20 Milliampere (M-A) 25 Minuten lang angewendet, so entspricht das

$$\frac{20 \,.\, 25 \,.\, 60}{1000} \,.\, 0{,}00021 = 0{,}0063 \text{ g Na}\oplus$$

und

$$\frac{20 \,.\, 25 \,.\, 60}{1000} \,.\, 0{,}0004 = 0{,}0123 \text{ g } \ominus\text{Cl},$$

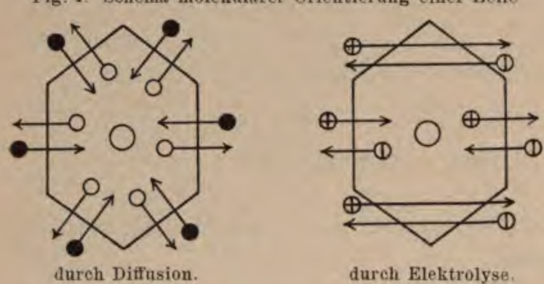
die jeden Querschnitt der Strombahn des menschlichen Körpers durch Elektrolyse passiert haben.

Sind diese Zahlen auch noch sehr klein, so bedeuten sie immerhin, daß so viel NaCl jeden Querschnitt des Körpers passiert hat, als ca. 2 ccm einer physiologischen Kochsalzlösung enthalten. Sehr stark fallen die Mengen ins Gewicht, wo es sich um elektrolytische Einverleibung körperfremder Ionen handelt. Bei Anwendung einer dünnen Säurelösung an der Anode, einer ebensolchen Laugenlösung an der Kathode wäre in dem oben angenommenen Falle z. B. durch Einwanderung von H⊕ und ⊖OH eine vollständige Verätzung der Haut erfolgt.

16. Elektrolyse und Diffusion. Wir wissen, daß im lebenden Organismus ein Vorgang eine sehr große Rolle spielt, welcher nahe Beziehungen zur Elektrolyse besitzt: die Diffusion. Bei der Diffusion wie bei der Elektrolyse wandern die gelösten Moleküle durch das Lösungsmittel hindurch. Bei der Diffusion ist der osmotische Druck die treibende Kraft, bei der Elektrolyse die Elektrizität. Bei der Diffusion wandern alle Moleküle, gleichgültig, ob sie elektrisch neutral oder positiv oder negativ geladen sind, von dem Orte höherer Konzentration nach dem Orte niederer Konzentration. Bei der Elektrolyse wandern nur

die elektrisch geladenen Moleküle, die Ionen, und zwar immer die Kationen in der Richtung von der Anode nach der Kathode, und die Anionen gleichzeitig in umgekehrter Richtung. Wir wissen, daß die Diffusionsvorgänge innig mit den Lebensvorgängen in der Zelle, mit ihrem Stoffwechsel verknüpft sind, und können uns ein ungefähr zutreffendes schematisches Bild davon machen, wenn wir annehmen, daß in jeder Zelle fortwährend zwei entgegengesetzte Diffusionsströme wirksam sind, ein zentrifugaler, welcher die Endprodukte des Stoffwechsels aus der Zelle wegführt, und ein zentripetaler, welcher der Zelle neue Nährstoffe zuführt (Fig. 4). Die Geschwindigkeit dieser Strömungen ist abhängig von dem Unterschied des osmotischen Druckes, welcher im Innern der Zellen, und des osmotischen Druckes, welcher an ihrer Peripherie herrscht. Wir nehmen an, daß im lebenden Gewebe fortwährend solche Druckunterschiede, welche allerdings sehr gering sind, erzeugt werden. Ueber die tatsächliche Größe dieser Diffusionsvorgänge in den Zellen wissen wir nichts, wir können uns nur ein grob schematisches Bild davon machen.

Fig. 4. Schema molekularer Orientierung einer Zelle



Wir wissen, daß z. B. aus einer Chlornatriumlösung, welche 1 Prozent NaCl enthält, bei 38 ° C. in der Sekunde etwa 0,00002 g NaCl durch einen Zylinder von 1 cm Länge und 1 qcm Querschnitt diffundiert, wenn diese Lösung mit reinem Wasser in Berührung gebracht wird. So grobe Konzentrationsunterschiede kommen aber im lebenden Gewebe bei weitem nicht vor, wir müssen daher annehmen, daß auch die durch Diffusion im lebenden Gewebe wandernden Mengen sich auf einen kleinen Bruchteil des oben angegebenen Wertes beschränken.

Senden wir nun einen galvanischen Strom durch ein solches Zellenkonglomerat, so wird er in die Orientierung der Moleküle eingreifen. Die nicht elektrolytischen Moleküle werden in ihrer Diffusion nicht gestört werden, alle Salze aber erhalten Impulse in dem Sinne, daß alle Kationen eine Beschleunigung in der Richtung nach der Kathode und alle Anionen in der Richtung nach der Anode erhalten. Je größer die Stromstärke, desto mehr wird diese neue Orientierung diejenige überwiegen, die vorher das Bild beherrschte.

Wenn der Strom aufhört, so tritt die zentrifugal-zentripetale Orientierung wieder in ihre Rechte, findet aber als Folge der galvanischen Durchströmung nunmehr veränderte Verhältnisse vor; in diesen Vorgängen

müssen wir nach der heutigen Auffassung die Angriffspunkte der Wirkungen und der Nachwirkungen der Elektrizität im lebenden Gewebe suchen.

17. Elektrolyse und Zirkulation. Schließlich bedarf noch das Verhältnis der Elektrolyse zu den mechanischen Strömungen, welche ihren Ursprung in der Zirkulation haben, der Klärung. Wir wissen, daß diese Strömungen an Geschwindigkeit die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen bei weitem übertreffen.

Denken wir uns eine Arterie, welche die Bahn eines galvanischen Stromes im lebenden Gewebe kreuzt. Das umgebende Gewebe wollen wir uns der Einfachheit halber als vollkommen ruhend vorstellen.

Die elektromotorische Kraft der Elektroden wird auf die Ionen des schnell zirkulierenden Blutes genau in derselben Weise einwirken, wie auf diejenigen des ruhenden Gewebes in der Umgebung der Arterie. Es werden infolgedessen auf der Anodenseite Anionen aus dem Blute in das ruhende Gewebe und Kationen aus dem ruhenden Gewebe ins Blut übertreten, an der Kathodenseite werden umgekehrt Kationen aus dem Blute und Anionen in dasselbe eintreten, genau in den Gewichtsmengen, welche der Dichte des galvanischen Stromes entsprechen und ganz abgesehen von der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes.

Aber die einzelnen Moleküle im zirkulierenden Blute werden immer nur ganz kurze Zeit, während ihres Hindurchschießens durch den Bereich des galvanischen Stromes, den Wirkungen der Elektroden ausgesetzt sein. Die Ionen, welche durch den galvanischen Strom in das Gefäßlumen eintreten, erreichen daher niemals die gegenüberliegende Gefäßwand, sondern sie werden vom Blutstrome fortgetragen.

Diese Verhältnisse sind beachtenswert, besonders wo es sich um die Einverleibung von Arzneistoffen durch Elektrolyse handelt. Die spezifische Wirkung derart einverleibter Mittel, z. B. die anästhesierende Wirkung von Kokain, wird für gewöhnlich nur so tief gehen, bis sie Blutgefäße erreicht hat. Verhütet man die Blutbewegung durch kräftige Kompression, so wird man im stande sein, tiefer gehende Wirkungen zu erzielen als ohne Kompression.

Diese Betrachtungen lehren uns auch, daß es ganz verkehrt wäre, zu versuchen, Arzneistoffe mit Hilfe der Elektrolyse durch den Körper hindurch zu leiten, etwa in der Weise, daß man Jod von der Kathode aus einführt, und erwartete, daß es schließlich an der Anode wieder erscheinen müßte, da es ja als Anion in der Richtung von der Kathode nach der Anode wandert.

Das Jod wird niemals an der Anode erscheinen, wohl aber wird es nach kurzer Zeit im Urine erscheinen, denn der Blutkreislauf reißt es mit sich fort und führt es dem allgemeinen Stoffwechsel zu.

Die chemischen und physikalischen Wirkungen des galvanischen Stromes im lebenden Gewebe.

18. Die elektrochemischen Wirkungen des Stromes an seiner Eintrittsstelle. Ursache der Aetzung. Denken wir uns zunächst die stromführenden, also mit elektrischer Spannung versehenen Elektroden in direkter leitender Berührung mit der Haut. Die Leitung wird dann dadurch zu stande kommen, daß das Metall der Elektroden und die spärlichen Flüssigkeitsmengen, welche an den Oeffnungen der Hautdrüsen zu Tage treten, sich berühren. Denn die trockene Epidermislage ist ja nicht leitend.

An der Anode werden nun durch die elektromotorische Kraft die Kationen dieser Flüssigkeit, also vorwiegend Na⊕, in das Gewebe hineingetrieben. Gleichzeitig werden die Anionen der Flüssigkeit, also vorwiegend ⊖Cl, aus den Poren heraus nach der Elektrode getrieben und geben dort ihre Ladung, d. h. ihr ⊖-Elektron, ab. In diesem Augenblicke wird Cl frei und entwickelt sofort die chemischen Eigenschaften des Chlorgases in statu nascendi.

Besteht die Elektrode aus einem edlen Metall, z. B. Platin, so reagiert das Chlor mit dem Wasser:

$$2\,Cl + H_2O = 2\,HCl + O,$$

es entsteht Salzsäure und Sauerstoff. Letzterer geht in Form feiner Bläschen ab. Die Salzsäure bleibt in Lösung und dissoziiert sich zum Teil:

$$HCl + \oplus\ominus = H\oplus + \ominus Cl.$$

Besteht die Elektrode aber aus einem unedlen Metall, z. B. Zink, so wird dieses von dem Chlorgase in statu mascendi oxydiert:

$$Zn + 2\,Cl = ZnCl_2,$$

es entsteht Chlorzink, das in Lösung geht, und sich sofort zum Teil dissoziiert:

$$ZnCl_2 + 2\oplus\ominus = Zn\oplus_2 + 2\ominus Cl.$$

Wir haben jetzt in der Lösung körperfremde Kationen H⊕, also eine Säure (s. o.), oder $Zn\oplus_2$, also ein Schwermetallsalz.

Nun werden diese Ionen gerade so wie vorher das Natriumion in die Hautporen hineingetrieben. Und da beide Ionen sehr aktive chemische Aetzmittel sind, bedeutet dieses elektrochemische Einwandern derselben Zerstörung des Gewebes. Daher kommt es, daß unter den gegebenen Umständen der galvanische Strom die Haut verätzt. Diese Aetzung folgt dem Faradayschen Gesetze. Sie ist proportional der Stromdichte und der Dauer des Stromes.

An der Kathode liegen die Verhältnisse ganz ähnlich. Hier werden durch die elektromotorische Kraft die Anionen der Flüssigkeit auf der Haut, also vorwiegend ⊖ Cl, in die Haut hineingetrieben; gleichzeitig werden die Kationen dieser Flüssigkeit, also vorwiegend Na⊕, aus den Poren heraus nach der Elektrode getrieben, geben dort ihre Ladung, also ihr ⊕-Elektron, ab. In diesem Augenblick wird Na frei und entwickelt sofort die chemischen Eigenschaften des Natriummetalles in statu nascendi: es reagiert mit dem Wasser:

$$\mathrm{Na} + \mathrm{H_2O} = \mathrm{NaOH} + \mathrm{H}.$$

Es bildet sich also Wasserstoffgas und Natronlauge. Ersteres entweicht in Bläschen, letztere dissoziiert sich zum Teil sofort:

$$\mathrm{NaOH} + \oplus\ominus = \mathrm{Na}\oplus + \ominus\mathrm{OH}.$$

Wir haben jetzt also hier in der Lösung das körperfremde Anion ⊖OH, das den chemischen Charakter einer Lauge trägt.

Nun wird das Hydroxylion ⊖OH gerade so wie vorher das ⊖Cl durch die elektromotorische Kraft in die Hautporen hineingetrieben, und verätzt hier die Haut gerade so nach dem Faradayschen Gesetze wie das Hydrogenion H⊕ an der Anode. Die Beobachtung hat gelehrt, daß schon sehr geringe Mengen dieser Ionen (einige hunderttausendstel Gramm), elektrolytisch in die Haut eingeführt, diese verätzen.

Da die Flüssigkeitsschicht, welche dabei in Betracht kommt, also auch der Weg von der Elektrode ins lebende Gewebe bei den geschilderten Verhältnissen sehr klein ist, tritt dieses Eindringen der Ionen und somit die Aetzung sehr rasch auf. Setzt man z. B. Platinelektroden direkt auf die Haut, so bekommt man bei einer Stromdichte von 2,5 Milliampere pro Quadratzentimeter schon nach 1 Minute charakteristische punktförmige, den Hautporen entsprechende Aetzung an beiden Elektroden.

19. Wirkung feuchter Elektroden. Diese Aetzung, welche sich mit Hilfe des Faradayschen Gesetzes sehr genau dosieren läßt, ist nun zwar in manchen Fällen therapeutisch verwendbar. Meist aber ist sie uns sehr unerwünscht, denn sie hindert uns, dem Körperinnern wirksame Strommengen zuzuführen.

Die Verhältnisse gestalten sich aber anders, wenn man zwischen die metallische Elektrode und die Haut durchfeuchtete Stoffe bringt, wie dies meist bei der therapeutischen Anwendung des galvanischen Stromes geschieht.

Es ist klar, daß dann die lokale Wirkung des galvanischen Stromes an seiner Eintrittsstelle von dem chemischen Charakter der Flüssigkeit abhängen muß, mit welcher die Elektrode befeuchtet ist.

Meist wählt man zur Befeuchtung der Elektroden Brunnenwasser, dieses enthält vorwiegend wieder Chlornatrium gelöst, wie die Körpersäfte.

Es werden also sich dieselben Vorgänge abspielen, welche wir soeben beschrieben haben. Der Unterschied beruht aber darin, daß nunmehr ein großer Weg von der metallischen Elektrode bis ins lebende Gewebe zurückzulegen ist, und daß infolgedessen die charakteristische Aetzung viel später eintritt als bei direkter Berührung der Haut mit der Metallelektrode. Bei nicht sehr energischen Anwendungen läßt sich die Aetzung hierdurch vollständig vermeiden, vorausgesetzt, daß die Ueberzüge der Elektroden nicht schon durch früheren Gebrauch mit Zersetzungsprodukten durchtränkt sind. Dies ist aber leider häufig der Fall.

Bei sehr energischer Anwendung des galvanischen Stromes läßt sich die Aetzung vermeiden, wenn man dafür Sorge trägt, daß die Anode mit einer dünnen Lösung von Natriumbikarbonat befeuchtet bleibt. Das Karbonation $\ominus_2 CO_3$ geht dann nach der Elektrode und wird dort in Gasform frei, ohne das Wasser oder die Elektrode zu zersetzen und dadurch Anlaß zur Bildung ätzender Ionen ($H\oplus$, $Zn\oplus_2$) zu geben.

Ebenso verliert die Kathode ihre ätzende Wirkung, wenn man dafür Sorge trägt, daß sie mit einer verdünnten Lösung von Salzsäure $H\oplus + \ominus Cl$ befeuchtet bleibt. Es tritt dann das Hydrogenion $H\oplus$ an die Elektrode und geht dort in Gasform ab, ohne seinerseits das Wasser zu zersetzen und dadurch Anlaß zur Bildung des ätzenden Hydroxylions $\ominus OH$ zu geben.

Bringt man dagegen umgekehrt die Natronlauge an die Kathode und die Salzsäure an die Anode, so tritt sofort bei Beginn des Stromes charakteristische Aetzung auf; denn nun treibt die elektromotorische Kraft sofort Hydrogenion $\oplus H$, also Säure, von der Anode und Hydroxylion $\ominus OH$, also Lauge, von der Kathode aus in die Poren der Haut.

Diese Aetzungen beruhen eben durchaus nicht auf den gewöhnlichen chemischen Reaktionen (wenn man genügend verdünnte Lösungen nimmt), sondern auf elektrolytischer Wirkung nach dem Faradayschen Gesetze.

20. Verwendung differenter Flüssigkeiten an den feuchten Elektroden. Perkutane Elektrolyse. Nun kann man aber statt der bisher besprochenen Lösungen auch die Lösungen aller anderen Elektrolyte der anorganischen sowohl als der organischen Chemie verwenden. Daraus ergibt sich eine unübersehbare Reihe höchst interessanter und zum Teil therapeutisch verwendbarer Wirkungen des galvanischen Stromes[3]).

Wir wissen, daß die normale Haut einen nahezu absoluten Widerstand der Resorption fast aller Salze entgegensetzt. Dieser Widerstand läßt sich jedoch durch den galvanischen Strom überwinden. Wir können mit Hilfe der elektromotorischen Kraft auf Grund des Faradayschen Gesetzes alle Salze durch die Haut hindurch dem lebenden Organismus einverleiben.

Die Wirkungen dieses Vorganges sind ebenso verschieden wie die chemischen und physiologischen Wirkungen der betreffenden Salze.

Von der Anode aus lassen sich alle Kationen durch die elektromotorische Kraft in die Hautporen hineintreiben. Es kommen hier also neben dem Hydrogenion H⊕, das eine Säure ist, in erster Linie die Mettallionen in Betracht, und diese haben, wie gesagt, den chemischen Charakter von Neutralsalzen der betreffenden Metalle. Und dem entspricht auch ihre Wirkung auf das lebende Gewebe.

Indifferent ist das Natriumion Na⊕ und verhältnismäßig indifferent seine Verwandten, das Kaliumion K⊕ und Lithiumion Li⊕. Sie lassen sich, ohne das lebende Gewebe zu verletzen, in großen Mengen durch die elektromotorische Kraft in die Haut einführen und werden von den zirkulierenden Körpersäften fortgeführt. Die übrigen Leichtmetallionen wirken mehr oder minder reizend, in großen Dosen ätzend, und die Schwermetallionen wirken ausnahmslos schon in kleinen Dosen ätzend. Der Charakter der Aetzung ist je nach den Eigenschaften des betreffenden Metallions verschieden. Trockene Nekrose der Haut erzeugt z. B. das Kupferion $Cu\oplus_2$, Verflüssigung des Gewebes das Quecksilberion $Hg\oplus_2$. Alle diese Wirkungen folgen dem Faradayschen Gesetze, d. h. sie sind proportional der Dichte des Stromes und seiner Dauer. So bekommt man z. B. durch Anwendung einer stark verdünnten Lösung von Kupfersulfat, welches an und für sich ohne jede merkliche Einwirkung auf die Haut sein würde, tiefgehende trockene Verätzung derselben, wenn man 10 Minuten lang 5 Milliampere auf 1 qcm Hautfläche von der Anode aus durch diese Lösung hindurch auf die Haut einwirken läßt.

Noch interessanter ist die Wirkung mancher organischer Kationen, welche gerade so wie die anorganischen von der elektromotorischen Kraft in die Haut hineingetrieben werden. Es lassen sich hierdurch sehr mannigfache, noch lange nicht genügend durchgeprüfte Wirkungen erzielen.

Zu diesen organischen Kationen gehören in erster Linie die Ionen der Alkaloide.

Es ist nachgewiesen, daß man den sofortigen Tod eines Kaninchens herbeiführen kann, wenn man zwischen die Anode und die Haut des Versuchstieres eine Strychninlösung bringt, und dann den Strom passieren läßt. Von der Kathode aus ist dieselbe Lösung vollkommen wirkungslos.

Ebenso lassen sich die Allgemeinwirkungen des Morphiums, des Atropins, des Pilokarpins u. s. w. durch elektrolytische Einführung ihrer Ionen in die Haut hervorrufen. Besonders auffallend und demonstrabel sind die lokalen anästhesierenden Wirkungen, welche die elektrolytische

Verwendung des Kokains, des Eukains u. s. w. auf der Haut erzielen. Von der Kathode aus sind diese Lösungen vollkommen wirkungslos.

Auch das Adrenalin bildet Ionen und man kann die charakteristische Anämie der Haut durch eine elektrolytische Einverleibung erzielen.

Von der Kathode aus wirken dagegen alle Anionen der Lösungen auf die Haut beziehungsweise das Körperinnere unter dem Einfluß des galvanischen Stromes.

Hier kommen außer dem Hydroxylion ⊖OH, welches die ätzende Wirkung einer Lauge hat, von den anorganischen Verbindungen hauptsächlich die Ionen der Säureradikale in Betracht. Diese haben die chemischen Eigenschaften und die Wirkungen von Neutralsalzen dieser Säuren.

Indifferent ist das Chlorion ⊖Cl, verhältnismäßig indifferent seine Verwandten, das Jodion ⊖J und das Bromion ⊖Br. Sie können in großer Menge die Haut passieren, ohne sie zu zerstören, und ihre spezifischen Wirkungen im Körperinnern entfalten. Die anderen Säureionen erzielen eine mehr oder minder starke Reizung der Haut, welche bis zur vollkommenen Zerstörung gehen kann. So gibt z. B. das Chromation trockene Aetzung. Auch das Hydrosulfidion ⊖SH dringt analog dem Hydroxylion ⊖OH in die Hautporen ein, und wirkt dort stark reizend.

Wie die anorganischen lassen sich auch die organischen Säureionen von der Kathode aus durch die elektromotorische Kraft einverleiben.

So ist es nachgewiesen, daß man den sofortigen Tod eines Kaninchens herbeiführen kann, wenn man Blausäure zwischen die Kathode und die Haut des Versuchstieres bringt und dann den Strom passieren läßt. Von der Anode aus ist die Lösung vollkommen unwirksam.

Therapeutisch wichtig ist, daß sich auch die Ionen der Pikrinsäure, Karbolsäure, Benzoesäure und viele andere in dieser Weise einverleiben lassen und ihre charakteristische Wirkung entfalten.

Ebenso wie auf die Epidermis wirken die betreffenden Chemikalien elektrolytisch auch auf die Schleimhäute; nur wird hier infolge der spontanen Resorption der Erfolg viel rascher erzielt.

21. Die subkutane Zuführung des Stromes. Elektropunktur. Ein Fall, der besondere Betrachtung verdient, tritt ein, wenn man nadelförmige metallische Elektroden durch die Haut hindurchstößt und so mitten in das lebende Gewebe bringt (Elektropunktur). Es wird dann der große Widerstand der Haut umgangen und der Strom tritt direkt in die saftreichen inneren Gewebe.

Die Vorgänge, welche sich hierbei abspielen, sind im Prinzip dieselben wie diejenigen, welche bei der direkten Berührung der Haut mit den metallischen Elektroden entstehen. Nur treten sie hier gleich sehr intensiv auf. Denn es ist unter diesen Umständen leicht, sehr große Stromintensitäten anzuwenden, da der gewaltige Widerstand der Haut

wegfällt. Die Dichte des Stromes wird dann aber sehr groß, denn die nadelförmigen Elektroden haben ja eine höchst geringe Fläche $\left(D = \frac{J}{Q}\right)$.

Nehmen wir Nadeln aus edlem Metall (Gold, Platin), so bildet sich an der Anode Salzsäure und bewirkt elektrolytische Säureätzung in der Umgebung. Nehmen wir Nadeln aus unedlem Metall, so bildet sich Metallchlorid und bewirkt elektrolytische Schwermetallätzung. An der Kathode bildet sich in beiden Fällen ⊖OH und bewirkt Laugenätzung in der Umgebung. Die Nadeln zerstören also beide das Gewebe durch Aetzung, aber der Charakter der Aetzungen ist verschieden. Die Kathode wirkt verflüssigend, die Anode adstringierend, besonders bei Verwendung unedlen Metalles.

22. Die elektrochemischen Wirkungen des galvanischen Stromes im Inneren des Körpers. Viel weniger klar als die Wirkungen des Stromes an seinen Eintrittsstellen übersehen wir seine Wirkungen im Inneren der Strombahn. Das liegt nicht nur daran, daß wir jene deutlich kontrollierbar vor Augen haben, während diese sich der direkten Beobachtung entziehen. Es kann vielmehr gar kein Zweifel darüber herrschen, daß die Wirkungen an den Eintrittsstellen des Stromes um ein sehr Vielfaches intensiver sind als die Wirkungen im Körperinnern.

Denn erstens sind wir nicht im stande, beliebige Stellen des Körperinnern in gleicher Weise der Einwirkung körperfremder Ionen auszusetzen, wie die Haut. Denn wir haben ja gesehen, daß der Strom der zirkulierenden Körpersäfte diese Ionen mit sich reißt und dem allgemeinen Stoffwechsel zuführt. Wir können also auf diesem Wege wohl Allgemeinwirkungen erzielen (Morphin etc.), wir können aber die betreffende Wirkung nicht auf ein beliebiges inneres Organ konzentrieren. Nur bei Organen, welche nahe der Oberfläche liegen, ist eine gewisse derartige Konzentration denkbar.

Zweitens können wir aber auch an keinem Punkt des Körperinnern eine derartige Stromdichte herbeiführen, wie sie an den Elektroden herrscht. (Nur bei der Einführung der Elektroden in Körperhöhlen [Magen, Mastdarm, Vagina] ist das möglich.) Denn nachdem der Strom den Engpaß (s. o. S. 11) der Haut passiert hat, findet er im Körperinnern ein breites Strombett, in welchem die Dichte und damit die lokale Wirksamkeit des Stromes oft auf Tausendstel derjenigen sinken muß, welche er in der Haut entwickelte.

Diese beiden Gründe wirken zusammen, die elektrochemischen Wirkungen des galvanischen Stromes im Körperinnern gegenüber denjenigen an den Eintrittsstellen des Stromes stark zurücktreten zu lassen. Daß er aber solche Wirkungen auch im Innern ausübt, können wir zwar nicht

beobachten, aber mit zwingender Logik schließen, da ja ein galvanischer Strom in einem feuchten Leiter ohne Ionenverschiebung unmöglich ist.

Wären nun die Zellen des Gewebes alle mit ein und derselben Flüssigkeit durchtränkt, so würde das Wandern der Ionen in dieser Flüssigkeit allerdings keine chemischen Veränderungen in den Zellen hervorrufen. Wir wissen aber, daß die Zellen chemisch differenziert sind, daß auch die Lösungen, mit welchen sie durchtränkt sind, gewisse Verschiedenheiten zeigen. Es müssen sich daher an der Grenze solcher verschiedenartiger Zellen, aber besonders da, wo sich verschiedene Organsysteme berühren, auch chemische Wirkungen entwickeln, nach Analogie des Vorganges, der entsteht, wenn wir zu beiden Seiten einer Membran zwei verschiedene elektrolytische Flüssigkeiten anbringen und dann den Strom hindurchschicken.

Nehmen wir bei einem solchen Analogieexperiment, z. B. auf der Anodenseite eine Lösung von NaCl, auf der Kathodenseite eine Lösung von KJ, so würde durch Elektrolyse zwischen beiden Lösungen eine Zwischenschicht von NaJ entstehen.

Vor Durchgang des Stromes

$$+\begin{array}{r|l} \mathrm{Na}\oplus\mathrm{Na}\oplus\mathrm{Na}\oplus & \mathrm{K}\oplus\mathrm{K}\oplus\mathrm{K}\oplus \\ \ominus\mathrm{Cl}\ominus\mathrm{Cl}\ominus\mathrm{Cl} & \ominus\mathrm{J}\ominus\mathrm{J}\ominus\mathrm{J} \end{array}-$$

Nach Durchgang des Stromes

$$+\begin{array}{r|c|l} \mathrm{Na}\oplus\mathrm{Na}\oplus & \mathbf{Na}\oplus & \mathrm{K}\oplus\mathrm{K}\oplus\mathrm{K}\oplus \\ \ominus\mathrm{Cl}\ominus\mathrm{Cl}\ominus\mathrm{Cl} & \ominus\mathbf{J} & \ominus\mathrm{J}\ominus\mathrm{J} \end{array}-$$

Umgekehrt würde eine Zwischenschicht von KCl entstehen, wenn wir die Kathode in die Kochsalzlösung und die Anode in die Jodkaliumlösung bringen:

$$-\begin{array}{r|c|l} \mathrm{Na}\oplus\mathrm{Na}\oplus\mathrm{Na}\oplus & \mathbf{K}\oplus & \mathrm{K}\oplus\mathrm{K}\oplus \\ \ominus\mathrm{Cl}\ominus\mathrm{Cl} & \ominus\mathbf{Cl} & \ominus\mathrm{J}\ominus\mathrm{J}\ominus\mathrm{J} \end{array}+$$

Ganz ähnlich würden sich auch an der Berührungsfläche chemisch differenter Organe, also etwa zwischen einer Nervenendigung und ihrer Umgebung, chemische Neubildungen vollziehen, wenn man sie in den Bereich eines galvanischen Stromes bringt. So ist es zu verstehen, wenn Du Bois-Reymond sagt: „Galvanische Reizung ist uns nichts mehr, als die erste Stufe der Elektrolyse eines Nerven“[4]. In diesem Sinne können wir in den elektrochemischen Wirkungen eines Stromes eine Ursache für seine physiologischen Wirkungen erblicken.

23. Die Rolle der Membranen. Eine besondere Berücksichtigung verdienen noch die Membranen des lebenden Gewebes. Wir wissen, daß es im lebenden Gewebe Membranen gibt, welche bei den Diffusionsvorgängen manchen Molekülen den Durchgang gestatten, manchen

nicht (semipermeable oder halbdurchlässige Wände). Hierauf führen wir zum Teil die chemische Differenzierung der Zellen zurück. Wir wissen durch die Erfahrung, welche wir an der Haut gemacht haben, daß der galvanische Strom im stande ist, den Widerstand dieser Membranen zu durchbrechen. Der Strom führt durch die Membranen auch solche Ionen hindurch, welche durch Diffusionen die Membranen nicht durchdringen können. Es ist klar, daß dieses Verhalten des Stromes einen sehr wichtigen Eingriff in den Chemismus der Zellen bedeutet, und daß dieser Vorgang ebenfalls für die Wirkungen und Nachwirkungen des Stromes schwer ins Gewicht fällt.

Aber auch noch aus einem anderen Grunde verdienen die Membranen eine besondere Berücksichtigung in diesem Zusammenhange. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß die Membranen unter gewissen Umständen, wenn sie den galvanischen Strom durchkreuzen, im stande sind, Ionen zur Abgabe ihrer Ladung zu bringen[5]). Es spielt so die halbdurchlässige Membran in mancher Hinsicht die Rolle einer in die Strombahn geschalteten Elektrode (eines sogenannten Zwischenleiters). Da nun die Entladung der Ionen zur Folge hat, daß die entladenen Substanzen (also z. B. Na und Cl) in statu nascendi reagieren, ist es klar, daß solche Vorgänge von der allergrößten Bedeutung für die elektrochemischen Wirkungen im Innern des lebenden Gewebes sein müssen.

Wir wissen heutzutage noch nicht, in welchem Umfange sie bei elektrotherapeutischen Maßnahmen mitspielen. Wir müssen uns aber dieser Lücke in unserem Wissen wohl bewußt bleiben, um nicht zu einer Unterschätzung der materiellen Wirkungen des Stromes im Körperinnern verführt zu werden.

24. **Die mechanischen Wirkungen des galvanischen Stromes im lebenden Gewebe. Die Kataphorese.** Neben der Fortführung der Ionen nach dem Faradayschen Gesetze findet in einer elektrolytischen Lösung, welche von einem elektrischen Strome durchflossen wird, in gewissen Fällen, nämlich wenn die Lösung sich in engen Röhren oder Poren befindet, noch eine Fortführung der *ganzen Flüssigkeit, also auch der nichtdissoziierten elektrisch inaktiven Elemente* statt, und zwar in der Richtung von der Anode nach der Kathode (Ausnahme von dieser Regel s. unten). Diese Strömung nennt man *Kataphorese* oder auch *elektrische Endosmose*.

Am einfachsten ist dieser Vorgang zu beobachten, wenn man die Biegung eines U-Rohres mit Watte füllt oder durch ein Diaphragma von Ton, Gips oder tierischer Membran absperrt. Füllt man beide Schenkel des Rohres mit Wasser und schickt dann einen galvanischen Strom hindurch, so findet *außer* der Elektrolyse eine *Bewegung des*

Wassers statt, d. h. an der Anode sinkt der Wasserspiegel, an der Kathode hebt er sich. Lösungen von Kupfervitriol, Zinkvitriol, schwefelsaurem Kali und Natron zeigen diese Erscheinung schwächer, Alkohol zeigt sie stärker als Wasser, verdünnte Schwefelsäure gab die Erscheinung nicht.

In Tondiaphragmen ergaben sich folgende Regeln für die Kataphorese:

1. Die Menge der in gleichen Zeiten durch den galvanischen Strom in den Tonzylinder nach der Kathode zu hineingeführten Flüssigkeit ist der Intensität des Stromes direkt proportional.

2. Die von demselben galvanischen Strome in der Zeiteinheit durch die Tonzylinder geführte Flüssigkeitsmenge ist unabhängig von der Größe der Oberfläche der Zylinder.

3. Das Verhältnis der durchgeführten Flüssigkeitsmenge zur Stromstärke ist unabhängig von der Dicke der Tonplatte.

4. Die Kraft, mit welcher ein galvanischer Strom die Flüssigkeit durch ein Diaphragma von bestimmtem Durchmesser hindurchtreibt, wird durch die Druckhöhe gemessen, bis zu welcher die Flüssigkeit unter dem Einflusse des galvanischen Stromes ansteigt.

Diese Kraft (h) ist der Intensität des Stromes (i), dem spezifischen Leitungswiderstand der Flüssigkeit (r), der Dicke der Wand (d) direkt proportional und der Oeffnung der Wand (o) umgekehrt proportional $\left(h = \frac{c \cdot i \cdot r \cdot d}{o}\right)$.

Da nun der Ausdruck $\frac{i \cdot r \cdot d}{o}$ nichts anderes bedeutet als die Potentialdifferenz (e) des elektrischen Stromes zu beiden Seiten der Oeffnung o der Wand von der Dicke d, so folgt hieraus der Satz:

Die Kraft, mit welcher der galvanische Strom kataphorisch die Flüssigkeit durch ein gegebenes Tondiaphragma hindurchtreibt, ist der Spannungsdifferenz zu beiden Seiten der Tonzelle proportional.

Von hohem Interesse sind daher auch die Untersuchungen von Quincke, der mit sehr hohen Spannungen arbeitete. Er verwendete in der Regel nicht den galvanischen Strom, sondern die Entladungen von Leydener Flaschen*).

Seine Ergebnisse sind kurz zusammengefaßt folgende:

1. Die treibende Kraft ist proportional der Elektrizitätsmenge, welche in der Leydener Flasche angehäuft war.

*) Quincke, Pogg. Ann. 113. S. 513. 1861.

2. Sie ist proportional der Länge der von der Elektrizität durchflossenen Flüssigkeitsstrecke.

3. Sie ist bei gleicher elektromotorischer Kraft dem Quadrate des Röhrenradius umgekehrt proportional.

4. Sie wird durch Zusatz von Salzen und Säuren zu reinem Wasser bedeutend vermindert.

5. Sie wird durch die Substanz der Röhrenoberfläche beeinflußt.

6. Reiner Alkohol zeigte dieselben Ergebnisse wie Wasser.

7. Einzelne Flüssigkeiten werden in entgegengesetzter Richtung wie Wasser fortgeführt, also nicht von der Anode zur Kathode, sondern umgekehrt (negative Kataphorese).

So zeigte eine bestimmte Sorte Alkohol (wahrscheinlich organisch verunreinigt) negative Kataphorese. Terpentinöl zeigte je nach der Substanz der Röhren bald negative, bald positive Kataphorese, ebenso Schwefelkohlenstoff.

Dabei zeigten sich alle ermittelten Gesetze hier ebenso gültig wie bei den Flüssigkeiten mit positiver Kataphorese.

Auf die Kataphorese fester Partikel einzugehen, ist hier nicht der Platz.

Eine interessante Beobachtung, welche in der medizinischen Literatur bisher allzuwenig Beachtung gefunden hat, stammt von Hittorf*). Sie betrifft das Verhalten toter tierischer Häute zur Kataphorese. Diese verhalten sich gegen eine Anzahl von Salzen, zu denen Salze von Alkalien (K, Na, NH_4, Li) gehören, wie die Tonplatten. Die vom Strom bei der Kataphorese hindurchgetriebene Lösung bewegt sich nur in der Richtung von der Anode nach der Kathode, und behält ihre quantitative Zusammensetzung bei.

Aber gegen die meisten Elektrolyte in wässerigen Lösungen zeigt die tierische Membran (H. benutzte Material aus gespaltener Darmwand) ein anderes Verhalten. Sie scheidet in ihren Poren die ursprüngliche Lösung in eine verdünntere und eine konzentriertere. Erstere wird in der Richtung von der Anode nach der Kathode, also im Sinne der positiven Kataphorese bewegt; letztere geht, vielleicht wegen geringerer Reibung und daher in größeren Mengen, in umgekehrter Richtung und tritt an der der Anode zugewandten Seite aus, wird also im Sinne der negativen Kataphorese bewegt.

Unsere Kenntnisse der Kataphorese sind bei weitem weniger geklärt wie unsere Kenntnisse der Elektrolyse. Vor allem fehlt uns ein Maß dafür, welche Flüssigkeitsmengen unter bestimmten gegebenen Ver-

*) Das Verhalten der Diaphragmen während der Elektrolyse. Zeitschr. f. Elektrochemie 1902. Nr. 30. S. 481.

hältnissen eine Membran kataphorisch durchfließen. Wir sind aber auch noch sehr im unklaren darüber, ob die Kataphorese bei den Wirkungen des galvanischen Stromes im lebenden Gewebe tatsächlich eine wesentliche Rolle spielt oder nicht. Theoretisch ist der Frage bei dem heutigen Stande unserer physikalischen Kenntnisse über die Kataphorese nicht gut beizukommen.

A priori kann man sich zwar sagen, daß die zahllosen Membranen, welche der Strom im lebenden Gewebe kreuzen muß, sehr vielfachen Anlaß zu kataphorischen Erscheinungen geben könnten. Anderseits wissen wir aber aus den physikalischen Experimenten, daß der Zusatz von Salzen zu reinem Wasser die Kataphorese bedeutend vermindert, so daß es fraglich erscheint, ob die Salzlösungen im lebenden Gewebe geeignete Angriffspunkte für die Kataphorese liefern.

Der experimentellen Prüfung ist die Frage, soweit sie die Vorgänge im Innern des menschlichen Körpers betrifft, noch kaum zugänglich gewesen. Dagegen besitzen wir Erfahrungen über das Verhalten der Kataphorese an den Eintrittsstellen des Stromes in der Haut.

Daß eine gewisse kataphorische Wirkung an den Eintrittsstellen des galvanischen Stromes sich bemerkbar macht, erscheint sicher. Wenn man die Elektroden mit Wasser gut befeuchtet und dann einen mittelkräftigen Strom einige Zeit einwirken läßt, so kann man bemerken, daß nachher diejenige Stelle der Haut, welche mit der Anode in Berührung war, deutlich eingesunken und geschrumpft ist, während diejenige Stelle, welche mit der Kathode in Berührung stand, ebenso deutlich erhaben, aufgetrieben ist. Diese Erscheinung läßt sich kaum anders erklären als durch eine mechanische Fortführung der Flüssigkeit durch Kataphorese.

Und zwar spricht der Befund dafür, daß an der Anode Flüssigkeit aus der Haut nach dem Innern des Körpers getrieben wurde, ohne daß ihr von außen entsprechender Ersatz zugeführt wurde; daher die Eintrocknung der Haut; daß an der Kathode Flüssigkeit aus dem Körperinnern in die Haut getrieben wurde, ohne daß diese entsprechende Mengen nach außen abgab; daher die Auftreibung der Haut. Es liegt also ein Fall von positiver Kataphorese vor, welche sich innerhalb der Körpergrenze abspielt, und welche, wie die Beobachtung zeigt, bald einen stationären Zustand erreicht.

Man ist nun aber viel weiter gegangen und hat vor allem geglaubt, mit Hilfe der Kataphorese beträchtliche Flüssigkeitsmengen durch die Haut hindurch dem Organismus zuführen zu können. Diese Annahme gründet sich auf die Tatsache, daß es leicht gelingt, beträchtliche Mengen von Quecksilber, Jod, Kokain u. dergl. perkutan einzuverleiben,

wenn man die Elektroden des galvanischen Stromes mit Lösungen dieser Stoffe befeuchtet. Da nun aber diese Stoffe Elektrolyte sind, und demnach mühelos durch Elektrolyse entsprechend dem Faradayschen Gesetze einverleibt werden können, so scheint es mir zweifellos, daß hier eine Verwechslung der elektrolytischen Vorgänge mit den kataphorischen vorliegt.

Von der Kataphorese müßten wir verlangen, falls wir ihr einen praktischen Wert bei der perkutanen Einverleibung von Medikamenten zuerkennen sollen, daß sie im stande wäre, elektrisch neutrale Massen, also z. B. Wasser, Alkohol, Chloroform, Aether, Eiweißstoffe, Fette, Zucker, Glyzerin u. dergl. durch die Haut zu führen. Bis jetzt fehlt ein einwandfreier Beweis, daß sie diese Forderung zu erfüllen vermag. Diese Feststellung ist wichtig nicht nur für die allgemeine Auffassung der therapeutischen Wirkungen des galvanischen Stromes, sondern auch, wie wir sehen werden, für die Technik mancher elektrotherapeutischer Verfahren.

25. Die thermischen Wirkungen des galvanischen Stromes. Joulesche Wärme. Wir haben oben (S. 22) gesehen, daß die Arbeit, welche der galvanische Strom im lebenden Gewebe leistet, im wesentlichen darin besteht, daß er die Ionen nach dem Faradayschen Gesetze durch das Gewebe hindurchtreibt. Bei dieser Arbeit ist ein sehr bedeutender Reibungswiderstand zu überwinden, welcher zwischen den wandernden Ionen und den ruhenden Massen des Gewebes entsteht. Reibung erzeugt Wärme. Längs der Strombahn muß also im lebenden Gewebe Wärme, die sogenannte Joulesche Wärme gebildet werden.

Das Verhältnis, in welchem diese Joulesche Wärme entsteht, unterliegt dem sogenannten Jouleschen Gesetze.

Bezeichnen wir mit W den Widerstand des menschlichen Körpers in Ohm (Ω), mit J die Intensität des Stromes in Ampere (A. = 1000 M.-A.) und mit t die Dauer des Stromes in Sekunden, so ist die Wärme, welche der Strom im menschlichen Körper erzeugt (K):

$$K = 0{,}24 \;.\; J^2 \;.\; W \;.\; t \;.\; \text{Grammkalorien.}$$

Eine Grammkalorie bedeutet diejenige Wärmemenge, welche im stande ist, 1 g Wasser um 1° C. zu erwärmen.

Wir können die Formel, die wir soeben wiedergegeben haben, auch anders ausdrücken. Nach dem Ohmschen Gesetze ist, wie wir wissen, die Intensität eines Stromes gleich der elektromotorischen Kraft der Elektroden dividiert durch den Widerstand

$$J = \frac{E}{W} \qquad E = J \,.\, W \qquad W = \frac{E}{J}.$$

Wenn wir diese Ausdrücke in die Formel für K einsetzen, so bekommen wir die gleichbedeutenden Ausdrücke

$$K = 0{,}24 \,.\, J^2 \,.\, W \,.\, t \text{ oder auch } = 0{,}24 \,.\, E \,.\, Jt \text{ oder auch } = 0{,}24 \,.\, \frac{E^2}{W} \,.\, t.$$

Wir können also zur Berechnung der Jouleschen Wärme entweder das Produkt Intensität^2 $\times$ Widerstand oder elektromotorische Kraft $\times$ Intensität oder schließlich elektromotorische Kraft^2 dividiert durch den Widerstand einsetzen.

Nehmen wir z. B. einen Fall an, in welchem der Widerstand des menschlichen Körpers 5000 Ohm (5000 Ω) beträgt. Wir wollen einen Strom von 10 M.-A. = 0,01 A. 1 Minute lang = 60 Sekunden anwenden. Es würde dies eine elektromotorische Kraft der Elektroden im Betrage von 50 Volt voraussetzen.

Unter diesen Voraussetzungen erhalten wir für alle drei Formeln den Wert

$$K = 7{,}2 \text{ g Kalorien.}$$

Wir ersehen daraus, daß unter diesen Umständen nur sehr geringe Wärmemengen dem menschlichen Körper im ganzen zugeführt werden. Mit 7,2 g Kalorien können wir 7,2 g Wasser um je 1° erwärmen oder auch 72 g um 0,1°, 720 g um 0,01° u. s. w.

Nun ist die örtliche Wärmewirkung des Stromes desto größer, je größer die Stromdichte und je größer der örtliche Widerstand des Leiters ist. Wir haben oben (S. 12 und 15) gesehen, daß die Stromdichte sowohl als auch der Widerstand in der Haut so groß ist, daß das Körperinnere dagegen vollständig zurücktritt. Daraus folgt, daß die Haut auch von der Erwärmung den Hauptanteil davonträgt, und nur hier der galvanische Strom bei einer therapeutischen Verwendung merkliche Wärmewirkungen äußern kann. Eine physiologisch hervorstechende Wirkung dieser Wärme können wir aber bei der allgemein üblichen Anwendung des galvanischen Stromes kaum je erwarten, da die entwickelten Wärmemengen unter diesen Umständen zu gering sind, um nicht gegenüber anderen Wirkungen des Stromes, z. B. den elektrolytischen, zurückzutreten. Höchstens bei der Anwendung sehr hoher Stromdichte mit sehr langer Dauer und unter besonderen Vorsichtsmaßregeln zur Verhütung elektrolytischer Wirkungen käme die Joulesche Wärme in der Haut als wesentlicher Faktor in Betracht.

Eine größere Bedeutung hat die Joulesche Wärme bei den sogenannten Hochfrequenzströmen, die mit ungeheuer großer elektromotorischer Kraft arbeiten, und zwar mit Hunderttausenden von Volt.

Bei diesen Strömen kann der Ausdruck $\frac{E^2}{W}$ einen sehr hohen Wert erlangen.

Die physiologischen Wirkungen des galvanischen Stromes.

Als physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes bezeichnen wir im Gegensatz zu den elektrochemischen und elektrophysikalischen diejenigen Wirkungen, welche ihre Ursachen in den besonderen Eigenschaften des lebenden Protoplasmas haben, und nur in diesem beobachtet werden.

26. Stromschwankungen als Reize. Als diejenige Eigenschaft des lebenden Protoplasmas, durch welche es sich als lebende Substanz von allen unbelebten Substanzen unterscheidet, betrachten wir seine Erregbarkeit oder Reizbarkeit.

Unter Reizen verstehen wir äußere Einflüsse, welche geeignet sind, das Protoplasma zu Lebensäußerungen, zu Reaktionen zu veranlassen. Leider hat die physiologische Technik dazu geführt, diese Definition des Reizes einzuschränken, und so werden meist nur diejenigen äußeren Einwirkungen als Reize anerkannt, die ganz unmittelbar wahrnehmbare Reaktionen erzeugen. Es liegt hierin eine sehr schiefe und wissenschaftlich unhaltbare Auffassung. Denn wir beurteilen dabei die Ursachen einer Reaktion nach dem Eindruck, welchen diese Reaktion auf die Sinnesorgane des Beobachters macht. Es ist aber doch wohl klar, daß z. B. solche Reaktionen, welche am raschesten und intensivsten ins Auge fallen, wie z. B. Zuckungen von Muskeln, für den Haushalt des Körpers manchmal viel weniger wichtig sein können als andere Reaktionen, welche nicht so sinnfällig sind, wie z. B. Aenderungen in den Ernährungsverhältnissen des gereizten Gewebes (nutritiver Reiz). Auf dieser falschen Auffassung des Reizes beruht eine weitverbreitete falsche Auffassung der Elektrotherapie und der physikalischen Heilmethoden im allgemeinen. Man will häufig nur diejenigen Wirkungen glauben, die sich unmittelbar beobachten lassen. Uebertrüge man diese Anschauungen z. B. auf die Pharmakotherapie, so würde die Mehrzahl der anerkannten Arzneimittel als unwirksam zu verwerfen sein.

Immerhin haben wir in dem Studium der unmittelbar sinnfälligen Wirkungen von Reizen eine Möglichkeit, manche Gesetze über die Beziehungen zwischen Reiz und Wirkung zu studieren. Wir dürfen nur nicht vergessen, daß wir nur einen sehr kleinen Bezirk eines sehr großen Gebietes hierbei studieren.

Die physiologische Beobachtung lehrt uns, daß als unmittelbar wahrnehmbarer Reiz jede Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma wirkt, wenn diese Erschütterung mit einer gewissen Schnelligkeit stattfindet und eine gewisse Größe übersteigt; also wirken vor allem elektrische Stöße,

Temperaturschwankungen, mechanische und chemische Eingriffe[6]).

Nach den vorausgegangenen Auseinandersetzungen ist es leicht verständlich, warum die elektromotorische Kraft mehr als irgend eine andere Kraft geeignet ist, derartige molekulare Erschütterungen, die als Protoplasmareize wirken, in das lebende Gewebe hineinzutragen. Denn mit keiner anderen Kraft sind wir im stande, in gleichem Maße das molekulare Gleichgewicht im Inneren des Organismus mit beliebiger Schnelligkeit und Heftigkeit zu erschüttern. Weder Temperaturschwankungen noch mechanische noch chemische Eingriffe lassen sich in so vollkommener Weise im Inneren des Organismus hervorrufen und abstufen wie elektrische Stöße.

Das soeben angeführte Gesetz macht es uns auch klar, unter welchen Umständen der galvanische Strom als Reiz wirkt. Es ist eine plötzliche Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma nötig, und diese Erschütterung muß eine gewisse Größe erreichen, um als unmittelbar wahrnehmbarer Reiz zu wirken.

Nun haben wir den galvanischen Strom als einen Zustand kennen gelernt, bei welchem einem wichtigen Teil der Moleküle im Gewebe, nämlich den Ionen, eine ganz bestimmte von der Norm abweichende Bewegung in einer ganz bestimmten Richtung gegeben wird.

Der Eintritt dieses Zustandes wird eine Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes in dem vorher anders orientierten Protoplasma darstellen. Die Wirkung dieser Erschütterung wird unmittelbar zur Beobachtung kommen, wenn die Erschütterung mit einer genügenden Schnelligkeit vor sich geht und eine gewisse Größe übersteigt.

Diesen Gesichtspunkten entsprechen vollständig die Tatsachen: Erregend wirkt nicht die Intensität des Stromes, sondern die Veränderung der Intensität in der Zeit (Du Bois-Reymond). Mit anderen Worten: als Reize kommen in erster Linie Stromschwankungen in Betracht.

So wirkt zunächst die Schließung einer galvanischen Kette durch den menschlichen Körper als einmaliger Reiz, falls die Spannung der Elektroden genügend groß ist und die Schließung rasch genug erfolgt, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen.

Während der Strom den Körper durchfließt, nimmt nun das Protoplasma ein neues molekulares Gleichgewicht an, bei welchem die Bewegung seiner Moleküle durch die elektromotorische Kraft mit beeinflußt ist. Hört dieser Einfluß der elektromotorischen Kraft wieder auf, so bedeutet das eine Erschütterung dieses neuen molekularen Gleichgewichtes.

Daher wirkt auch die Oeffnung eines bestehenden galvanischen

Stromes als Reiz, falls die Spannung der Elektroden groß genug war und die Oeffnung mit genügender Schnelligkeit vor sich ging, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen. Doch lehrt die Erfahrung, daß der Oeffnungsreiz kleiner ist als der Schließungsreiz.

Gerade so wie plötzliche Schließung und Oeffnung des Stromes wirkt auch plötzliche Verstärkung und Abschwächung eines bestehenden Stromes. Am stärksten wird aber c. p. die Erschütterung, wenn der Strom plötzlich gewendet wird, d. h. wenn die Ionen plötzlich von der einen Wanderungsrichtung in die entgegengesetzte geworfen werden.

Das Bestehen des Stromes selbst wirkt nicht in dem Sinne als Reiz, daß es unmittelbar sichtbare Reaktionen zur Folge hat. Doch hat dieser Satz keine prinzipielle Bedeutung. Erstens gilt er nur für solche Stromstärken, welche in der Elektrotherapie üblich sind. Bei größeren Stromstärken — die sich aber für die Elektrotherapie im allgemeinen nicht empfehlen, weil sie zu schmerzhaft sind — wirkt auch das Bestehen des galvanischen Stromes als Reiz mit unmittelbar sichtbaren Folgen. Zweitens wirken aber auch schon sehr schwache Ströme auf die Empfindung, man fühlt sie. Es wäre also unberechtigt, ihnen jede Reizwirkung nur deshalb abzusprechen, weil die Reaktion von unserem Auge nicht wahrgenommen wird.

Der galvanische Strom wirkt also als Protoplasmareiz

1. bei seiner Schließung,
2. bei seiner Oeffnung,
3. bei seiner Verstärkung,
4. bei seiner Schwächung,
5. bei seiner Wendung,

(6. während der Stromdauer),

und zwar ist der Reiz c. p. desto stärker, je größer die Spannung der Elektroden ist und je schroffer der Wechsel in der Spannung eintritt.

Wir haben schon vorhin darauf aufmerksam gemacht, daß es durchaus unrichtig wäre, das Vorhandensein eines Reizes und den Eintritt einer Reaktion nur dann anzuerkennen, wenn die Reaktion ohne weiteres unmittelbar zur Beobachtung kommt, oder wie die Physiologen sich ausdrücken, wenn der Reiz die Schwelle überschreitet. Der Schwellenwert des Reizes ist eine ganz willkürliche Größe, und es kann vorkommen, daß gerade die wichtigsten Reaktionen schon unterhalb des Schwellenwertes vor sich gehen und sich daher der unmittelbaren Beobachtung entziehen.

Tatsächlich müssen wir unter der Reizbarkeit des Protoplasmas seine Fähigkeit verstehen, unter dem Einfluß von allerlei Einwirkungen (Reizen) seinen Stoffwechsel und also auch seinen Energiewechsel zu ver-

Temperaturschwankungen, mechanische und chemische Eingriffe[6]).

Nach den vorausgegangenen Auseinandersetzungen ist es leicht verständlich, warum die elektromotorische Kraft mehr als irgend eine andere Kraft geeignet ist, derartige molekulare Erschütterungen, die als Protoplasmareize wirken, in das lebende Gewebe hineinzutragen. Denn mit keiner anderen Kraft sind wir im stande, in gleichem Maße das molekulare Gleichgewicht im Inneren des Organismus mit beliebiger Schnelligkeit und Heftigkeit zu erschüttern. Weder Temperaturschwankungen noch mechanische noch chemische Eingriffe lassen sich in so vollkommener Weise im Inneren des Organismus hervorrufen und abstufen wie elektrische Stöße.

Das soeben angeführte Gesetz macht es uns auch klar, unter welchen Umständen der galvanische Strom als Reiz wirkt. Es ist eine plötzliche Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma nötig, und diese Erschütterung muß eine gewisse Größe erreichen, um als unmittelbar wahrnehmbarer Reiz zu wirken.

Nun haben wir den galvanischen Strom als einen Zustand kennen gelernt, bei welchem einem wichtigen Teil der Moleküle im Gewebe, nämlich den Ionen, eine ganz bestimmte von der Norm abweichende Bewegung in einer ganz bestimmten Richtung gegeben wird.

Der Eintritt dieses Zustandes wird eine Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes in dem vorher anders orientierten Protoplasma darstellen. Die Wirkung dieser Erschütterung wird unmittelbar zur Beobachtung kommen, wenn die Erschütterung mit einer genügenden Schnelligkeit vor sich geht und eine gewisse Größe übersteigt.

Diesen Gesichtspunkten entsprechen vollständig die Tatsachen: Erregend wirkt nicht die Intensität des Stromes, sondern die Veränderung der Intensität in der Zeit (Du Bois-Reymond). Mit anderen Worten: als Reize kommen in erster Linie Stromschwankungen in Betracht.

So wirkt zunächst die Schließung einer galvanischen Kette durch den menschlichen Körper als einmaliger Reiz, falls die Spannung der Elektroden genügend groß ist und die Schließung rasch genug erfolgt, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen.

Während der Strom den Körper durchfließt, nimmt nun das Protoplasma ein neues molekulares Gleichgewicht an, bei welchem die Bewegung seiner Moleküle durch die elektromotorische Kraft mit beeinflußt ist. Hört dieser Einfluß der elektromotorischen Kraft wieder auf, so bedeutet das eine Erschütterung dieses neuen molekularen Gleichgewichtes.

Daher wirkt auch die Oeffnung eines bestehenden galvanischen

Stromes als Reiz, falls die Spannung der Elektroden groß genug war und die Oeffnung mit genügender Schnelligkeit vor sich ging, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen. Doch lehrt die Erfahrung, daß der Oeffnungsreiz kleiner ist als der Schließungsreiz.

Gerade so wie plötzliche Schließung und Oeffnung des Stromes wirkt auch plötzliche Verstärkung und Abschwächung eines bestehenden Stromes. Am stärksten wird aber c. p. die Erschütterung, wenn der Strom plötzlich gewendet wird, d. h. wenn die Ionen plötzlich von der einen Wanderungsrichtung in die entgegengesetzte geworfen werden.

Das Bestehen des Stromes selbst wirkt nicht in dem Sinne als Reiz, daß es unmittelbar sichtbare Reaktionen zur Folge hat. Doch hat dieser Satz keine prinzipielle Bedeutung. Erstens gilt er nur für solche Stromstärken, welche in der Elektrotherapie üblich sind. Bei größeren Stromstärken — die sich aber für die Elektrotherapie im allgemeinen nicht empfehlen, weil sie zu schmerzhaft sind — wirkt auch das Bestehen des galvanischen Stromes als Reiz mit unmittelbar sichtbaren Folgen. Zweitens wirken aber auch schon sehr schwache Ströme auf die Empfindung, man fühlt sie. Es wäre also unberechtigt, ihnen jede Reizwirkung nur deshalb abzusprechen, weil die Reaktion von unserem Auge nicht wahrgenommen wird.

Der galvanische Strom wirkt also als Protoplasmareiz

1. bei seiner Schließung,
2. bei seiner Oeffnung,
3. bei seiner Verstärkung,
4. bei seiner Schwächung,
5. bei seiner Wendung,

(6. während der Stromdauer),

und zwar ist der Reiz c. p. desto stärker, je größer die Spannung der Elektroden ist und je schroffer der Wechsel in der Spannung eintritt.

Wir haben schon vorhin darauf aufmerksam gemacht, daß es durchaus unrichtig wäre, das Vorhandensein eines Reizes und den Eintritt einer Reaktion nur dann anzuerkennen, wenn die Reaktion ohne weiteres unmittelbar zur Beobachtung kommt, oder wie die Physiologen sich ausdrücken, wenn der Reiz die Schwelle überschreitet. Der Schwellenwert des Reizes ist eine ganz willkürliche Größe, und es kann vorkommen, daß gerade die wichtigsten Reaktionen schon unterhalb des Schwellenwertes vor sich gehen und sich daher der unmittelbaren Beobachtung entziehen.

Tatsächlich müssen wir unter der Reizbarkeit des Protoplasmas seine Fähigkeit verstehen, unter dem Einfluß von allerlei Einwirkungen (Reizen) seinen Stoffwechsel und also auch seinen Energiewechsel zu ver-

Temperaturschwankungen, mechanische und chemische Eingriffe[6]).

Nach den vorausgegangenen Auseinandersetzungen ist es leicht verständlich, warum die elektromotorische Kraft mehr als irgend eine andere Kraft geeignet ist, derartige molekulare Erschütterungen, die als Protoplasmareize wirken, in das lebende Gewebe hineinzutragen. Denn mit keiner anderen Kraft sind wir im stande, in gleichem Maße das molekulare Gleichgewicht im Inneren des Organismus mit beliebiger Schnelligkeit und Heftigkeit zu erschüttern. Weder Temperaturschwankungen noch mechanische noch chemische Eingriffe lassen sich in so vollkommener Weise im Inneren des Organismus hervorrufen und abstufen wie elektrische Stöße.

Das soeben angeführte Gesetz macht es uns auch klar, unter welchen Umständen der galvanische Strom als Reiz wirkt. Es ist eine plötzliche Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma nötig, und diese Erschütterung muß eine gewisse Größe erreichen, um als unmittelbar wahrnehmbarer Reiz zu wirken.

Nun haben wir den galvanischen Strom als einen Zustand kennen gelernt, bei welchem einem wichtigen Teil der Moleküle im Gewebe, nämlich den Ionen, eine ganz bestimmte von der Norm abweichende Bewegung in einer ganz bestimmten Richtung gegeben wird.

Der Eintritt dieses Zustandes wird eine Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes in dem vorher anders orientierten Protoplasma darstellen. Die Wirkung dieser Erschütterung wird unmittelbar zur Beobachtung kommen, wenn die Erschütterung mit einer genügenden Schnelligkeit vor sich geht und eine gewisse Größe übersteigt.

Diesen Gesichtspunkten entsprechen vollständig die Tatsachen: Erregend wirkt nicht die Intensität des Stromes, sondern die Veränderung der Intensität in der Zeit (Du Bois-Reymond). Mit anderen Worten: als Reize kommen in erster Linie Stromschwankungen in Betracht.

So wirkt zunächst die Schließung einer galvanischen Kette durch den menschlichen Körper als einmaliger Reiz, falls die Spannung der Elektroden genügend groß ist und die Schließung rasch genug erfolgt, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen.

Während der Strom den Körper durchfließt, nimmt nun das Protoplasma ein neues molekulares Gleichgewicht an, bei welchem die Bewegung seiner Moleküle durch die elektromotorische Kraft mit beeinflußt ist. Hört dieser Einfluß der elektromotorischen Kraft wieder auf, so bedeutet das eine Erschütterung dieses neuen molekularen Gleichgewichtes.

Daher wirkt auch die Oeffnung eines bestehenden galvanischen

Stromes als Reiz, falls die Spannung der Elektroden groß genug war und die Oeffnung mit genügender Schnelligkeit vor sich ging, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen. Doch lehrt die Erfahrung, daß der Oeffnungsreiz kleiner ist als der Schließungsreiz.

Gerade so wie plötzliche Schließung und Oeffnung des Stromes wirkt auch plötzliche Verstärkung und Abschwächung eines bestehenden Stromes. Am stärksten wird aber c. p. die Erschütterung, wenn der Strom plötzlich *gewendet* wird, d. h. wenn die Ionen plötzlich von der *einen* Wanderungsrichtung in die entgegengesetzte geworfen werden.

Das Bestehen des Stromes selbst wirkt nicht in dem Sinne als Reiz, daß es unmittelbar sichtbare Reaktionen zur Folge hat. Doch hat dieser Satz keine *prinzipielle* Bedeutung. Erstens gilt er nur für solche Stromstärken, welche in der Elektrotherapie üblich sind. Bei größeren Stromstärken — die sich aber für die Elektrotherapie im allgemeinen nicht empfehlen, weil sie zu schmerzhaft sind — wirkt auch das Bestehen des galvanischen Stromes als Reiz mit unmittelbar sichtbaren Folgen. Zweitens wirken aber auch schon sehr schwache Ströme auf die Empfindung, man fühlt sie. Es wäre also unberechtigt, ihnen jede Reizwirkung nur deshalb abzusprechen, weil die Reaktion von unserem Auge nicht wahrgenommen wird.

Der galvanische Strom wirkt also als Protoplasmareiz

1. bei seiner Schließung,
2. bei seiner Oeffnung,
3. bei seiner Verstärkung,
4. bei seiner Schwächung,
5. bei seiner Wendung,

(6. während der Stromdauer),

und zwar ist der Reiz c. p. desto stärker, je größer die Spannung der Elektroden ist und je schroffer der Wechsel in der Spannung eintritt.

Wir haben schon vorhin darauf aufmerksam gemacht, daß es durchaus unrichtig wäre, das Vorhandensein eines *Reizes* und den Eintritt einer Reaktion nur dann anzuerkennen, wenn die Reaktion ohne weiteres unmittelbar zur Beobachtung kommt, oder wie die Physiologen sich ausdrücken, wenn der Reiz die *Schwelle* überschreitet. Der Schwellenwert des Reizes ist eine ganz willkürliche Größe, und es kann vorkommen, daß gerade die wichtigsten Reaktionen schon unterhalb des Schwellenwertes vor sich gehen und sich daher der unmittelbaren Beobachtung entziehen.

Tatsächlich müssen wir unter der Reizbarkeit des Protoplasmas seine Fähigkeit verstehen, unter dem Einfluß von allerlei Einwirkungen (Reizen) seinen *Stoffwechsel* und also auch seinen *Energiewechsel* zu ver-

Temperaturschwankungen, mechanische und chemische Eingriffe[6]).

Nach den vorausgegangenen Auseinandersetzungen ist es leicht verständlich, warum die elektromotorische Kraft mehr als irgend eine andere Kraft geeignet ist, derartige molekulare Erschütterungen, die als Protoplasmareize wirken, in das lebende Gewebe hineinzutragen. Denn mit keiner anderen Kraft sind wir im stande, in gleichem Maße das molekulare Gleichgewicht im Inneren des Organismus mit beliebiger Schnelligkeit und Heftigkeit zu erschüttern. Weder Temperaturschwankungen noch mechanische noch chemische Eingriffe lassen sich in so vollkommener Weise im Inneren des Organismus hervorrufen und abstufen wie elektrische Stöße.

Das soeben angeführte Gesetz macht es uns auch klar, unter welchen Umständen der galvanische Strom als Reiz wirkt. Es ist eine plötzliche Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma nötig, und diese Erschütterung muß eine gewisse Größe erreichen, um als unmittelbar wahrnehmbarer Reiz zu wirken.

Nun haben wir den galvanischen Strom als einen Zustand kennen gelernt, bei welchem einem wichtigen Teil der Moleküle im Gewebe, nämlich den Ionen, eine ganz bestimmte von der Norm abweichende Bewegung in einer ganz bestimmten Richtung gegeben wird.

Der Eintritt dieses Zustandes wird eine Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes in dem vorher anders orientierten Protoplasma darstellen. Die Wirkung dieser Erschütterung wird unmittelbar zur Beobachtung kommen, wenn die Erschütterung mit einer genügenden Schnelligkeit vor sich geht und eine gewisse Größe übersteigt.

Diesen Gesichtspunkten entsprechen vollständig die Tatsachen: Erregend wirkt nicht die Intensität des Stromes, sondern die Veränderung der Intensität in der Zeit (Du Bois-Reymond). Mit anderen Worten: als Reize kommen in erster Linie Stromschwankungen in Betracht.

So wirkt zunächst die Schließung einer galvanischen Kette durch den menschlichen Körper als einmaliger Reiz, falls die Spannung der Elektroden genügend groß ist und die Schließung rasch genug erfolgt, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen.

Während der Strom den Körper durchfließt, nimmt nun das Protoplasma ein neues molekulares Gleichgewicht an, bei welchem die Bewegung seiner Moleküle durch die elektromotorische Kraft mit beeinflußt ist. Hört dieser Einfluß der elektromotorischen Kraft wieder auf, so bedeutet das eine Erschütterung dieses neuen molekularen Gleichgewichtes.

Daher wirkt auch die Oeffnung eines bestehenden galvanischen

Stromes als Reiz, falls die Spannung der Elektroden groß genug war und die Oeffnung mit genügender Schnelligkeit vor sich ging, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen. Doch lehrt die Erfahrung, daß der Oeffnungsreiz kleiner ist als der Schließungsreiz.

Gerade so wie plötzliche Schließung und Oeffnung des Stromes wirkt auch plötzliche Verstärkung und Abschwächung eines bestehenden Stromes. Am stärksten wird aber c. p. die Erschütterung, wenn der Strom plötzlich gewendet wird, d. h. wenn die Ionen plötzlich von der einen Wanderungsrichtung in die entgegengesetzte geworfen werden.

Das Bestehen des Stromes selbst wirkt nicht in dem Sinne als Reiz, daß es unmittelbar sichtbare Reaktionen zur Folge hat. Doch hat dieser Satz keine prinzipielle Bedeutung. Erstens gilt er nur für solche Stromstärken, welche in der Elektrotherapie üblich sind. Bei größeren Stromstärken — die sich aber für die Elektrotherapie im allgemeinen nicht empfehlen, weil sie zu schmerzhaft sind — wirkt auch das Bestehen des galvanischen Stromes als Reiz mit unmittelbar sichtbaren Folgen. Zweitens wirken aber auch schon sehr schwache Ströme auf die Empfindung, man fühlt sie. Es wäre also unberechtigt, ihnen jede Reizwirkung nur deshalb abzusprechen, weil die Reaktion von unserem Auge nicht wahrgenommen wird.

Der galvanische Strom wirkt also als Protoplasmareiz

1. bei seiner Schließung,
2. bei seiner Oeffnung,
3. bei seiner Verstärkung,
4. bei seiner Schwächung,
5. bei seiner Wendung,
(6. während der Stromdauer),

und zwar ist der Reiz c. p. desto stärker, je größer die Spannung der Elektroden ist und je schroffer der Wechsel in der Spannung eintritt.

Wir haben schon vorhin darauf aufmerksam gemacht, daß es durchaus unrichtig wäre, das Vorhandensein eines Reizes und den Eintritt einer Reaktion nur dann anzuerkennen, wenn die Reaktion ohne weiteres unmittelbar zur Beobachtung kommt, oder wie die Physiologen sich ausdrücken, wenn der Reiz die Schwelle überschreitet. Der Schwellenwert des Reizes ist eine ganz willkürliche Größe, und es kann vorkommen, daß gerade die wichtigsten Reaktionen schon unterhalb des Schwellenwertes vor sich gehen und sich daher der unmittelbaren Beobachtung entziehen.

Tatsächlich müssen wir unter der Reizbarkeit des Protoplasmas seine Fähigkeit verstehen, unter dem Einfluß von allerlei Einwirkungen (Reizen) seinen Stoffwechsel und also auch seinen Energiewechsel zu ver-

Temperaturschwankungen, mechanische und chemische Eingriffe[6]).

Nach den vorausgegangenen Auseinandersetzungen ist es leicht verständlich, warum die elektromotorische Kraft mehr als irgend eine andere Kraft geeignet ist, derartige molekulare Erschütterungen, die als Protoplasmareize wirken, in das lebende Gewebe hineinzutragen. Denn mit keiner anderen Kraft sind wir im stande, in gleichem Maße das molekulare Gleichgewicht im Inneren des Organismus mit beliebiger Schnelligkeit und Heftigkeit zu erschüttern. Weder Temperaturschwankungen noch mechanische noch chemische Eingriffe lassen sich in so vollkommener Weise im Inneren des Organismus hervorrufen und abstufen wie elektrische Stöße.

Das soeben angeführte Gesetz macht es uns auch klar, unter welchen Umständen der galvanische Strom als Reiz wirkt. Es ist eine plötzliche Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma nötig, und diese Erschütterung muß eine gewisse Größe erreichen, um als unmittelbar wahrnehmbarer Reiz zu wirken.

Nun haben wir den galvanischen Strom als einen Zustand kennen gelernt, bei welchem einem wichtigen Teil der Moleküle im Gewebe, nämlich den Ionen, eine ganz bestimmte von der Norm abweichende Bewegung in einer ganz bestimmten Richtung gegeben wird.

Der Eintritt dieses Zustandes wird eine Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes in dem vorher anders orientierten Protoplasma darstellen. Die Wirkung dieser Erschütterung wird unmittelbar zur Beobachtung kommen, wenn die Erschütterung mit einer genügenden Schnelligkeit vor sich geht und eine gewisse Größe übersteigt.

Diesen Gesichtspunkten entsprechen vollständig die Tatsachen: Erregend wirkt nicht die Intensität des Stromes, sondern die Veränderung der Intensität in der Zeit (Du Bois-Reymond). Mit anderen Worten: als Reize kommen in erster Linie Stromschwankungen in Betracht.

So wirkt zunächst die Schließung einer galvanischen Kette durch den menschlichen Körper als einmaliger Reiz, falls die Spannung der Elektroden genügend groß ist und die Schließung rasch genug erfolgt, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen.

Während der Strom den Körper durchfließt, nimmt nun das Protoplasma ein neues molekulares Gleichgewicht an, bei welchem die Bewegung seiner Moleküle durch die elektromotorische Kraft mit beeinflußt ist. Hört dieser Einfluß der elektromotorischen Kraft wieder auf, so bedeutet das eine Erschütterung dieses neuen molekularen Gleichgewichtes.

Daher wirkt auch die Oeffnung eines bestehenden galvanischen

Stromes als Reiz, falls die Spannung der Elektroden groß genug war und die Oeffnung mit genügender Schnelligkeit vor sich ging, um eine ausreichende Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma herbeizuführen. Doch lehrt die Erfahrung, daß der Oeffnungsreiz kleiner ist als der Schließungsreiz.

Gerade so wie plötzliche Schließung und Oeffnung des Stromes wirkt auch plötzliche Verstärkung und Abschwächung eines bestehenden Stromes. Am stärksten wird aber c. p. die Erschütterung, wenn der Strom plötzlich gewendet wird, d. h. wenn die Ionen plötzlich von der einen Wanderungsrichtung in die entgegengesetzte geworfen werden.

Das Bestehen des Stromes selbst wirkt nicht in dem Sinne als Reiz, daß es unmittelbar sichtbare Reaktionen zur Folge hat. Doch hat dieser Satz keine prinzipielle Bedeutung. Erstens gilt er nur für solche Stromstärken, welche in der Elektrotherapie üblich sind. Bei größeren Stromstärken — die sich aber für die Elektrotherapie im allgemeinen nicht empfehlen, weil sie zu schmerzhaft sind — wirkt auch das Bestehen des galvanischen Stromes als Reiz mit unmittelbar sichtbaren Folgen. Zweitens wirken aber auch schon sehr schwache Ströme auf die Empfindung, man fühlt sie. Es wäre also unberechtigt, ihnen jede Reizwirkung nur deshalb abzusprechen, weil die Reaktion von unserem Auge nicht wahrgenommen wird.

Der galvanische Strom wirkt also als Protoplasmareiz

1. bei seiner Schließung,
2. bei seiner Oeffnung,
3. bei seiner Verstärkung,
4. bei seiner Schwächung,
5. bei seiner Wendung,
(6. während der Stromdauer),

und zwar ist der Reiz c. p. desto stärker, je größer die Spannung der Elektroden ist und je schroffer der Wechsel in der Spannung eintritt.

Wir haben schon vorhin darauf aufmerksam gemacht, daß es durchaus unrichtig wäre, das Vorhandensein eines Reizes und den Eintritt einer Reaktion nur dann anzuerkennen, wenn die Reaktion ohne weiteres unmittelbar zur Beobachtung kommt, oder wie die Physiologen sich ausdrücken, wenn der Reiz die Schwelle überschreitet. Der Schwellenwert des Reizes ist eine ganz willkürliche Größe, und es kann vorkommen, daß gerade die wichtigsten Reaktionen schon unterhalb des Schwellenwertes vor sich gehen und sich daher der unmittelbaren Beobachtung entziehen.

Tatsächlich müssen wir unter der Reizbarkeit des Protoplasmas seine Fähigkeit verstehen, unter dem Einfluß von allerlei Einwirkungen (Reizen) seinen Stoffwechsel und also auch seinen Energiewechsel zu ver-

mehren oder zu vermindern[7]). Die Reize sind daher im stande sehr maßgebend in alle eigentlichen Lebensvorgänge einzugreifen. Denn sie beeinflussen alle wesentlichen Leistungen des Protoplasmas. Da, wie wir gesehen haben, der galvanische Strom einer der brauchbarsten Reize ist, über die wir verfügen, müssen wir ihm auch diese außerordentlich wichtigen Wirkungen der Reize ganz besonders zugestehen.

Dieser Umstand verdient die ernsteste Beachtung, wenn wir die Ergebnisse gewissenhafter Elektrotherapeuten an der Elle unserer physiologischen Kenntnisse messen. Wir wissen, der galvanische Strom hat wichtige trophische und funktionelle Wirkungen. Unmittelbar beobachten können wir diese Wirkungen häufig nicht. Die einzigen Nachrichten, welche wir von ihnen bekommen, sind die Heilerfolge, welche gewissenhafte Therapeuten zu verzeichnen haben, wenn das lebende Protoplasma durch Krankheit oder Traumen in seinen Funktionen gestört ist. Es ist eine Forderung wissenschaftlicher Ehrlichkeit, daß man sich in solchen Fällen nicht hinter sein angebliches physiologisches Besserwissen verschanzt, um Heilerfolge unglaubhaft zu machen, für deren Zustandekommen uns zur Zeit das volle Verständnis fehlt.

27. Der Einfluß des galvanischen Stromes auf die Reizbarkeit des Gewebes. Elektrotonus. Mit dem soeben besprochenen Einflusse des galvanischen Reizes auf das Protoplasma hängt es offenbar zusammen, daß der galvanische Strom nicht nur selbst unmittelbar wahrnehmbare Reaktionen hervorrufen kann, sondern daß er auch im stande ist, die Reaktionsfähigkeit des Protoplasmas auf alle Reize zu vermehren und zu vermindern. An und für sich erscheint diese Wirkung des galvanischen Stromes nach den vorhergehenden Betrachtungen sehr verständlich, weil eben der galvanische Strom in seiner Eigenschaft als physiologischer Reiz im stande ist, die Lebensäußerungen des Protoplasmas zu steigern oder zu vermindern.

Es zeigt sich an denjenigen Zellkomplexen, welche die auffälligsten Reaktionen liefern, nämlich an den Nerven und Muskeln eine Erscheinung, welche auch für die Elektrotherapie wichtig ist und auf ein allgemeines Gesetz hinzudeuten scheint.

Während der Dauer eines galvanischen Stromes zeigen nämlich die reizbaren Organe des lebenden Gewebes in der Nähe der Anode herabgesetzte Reizbarkeit, Anelektrotonus, in der Nähe der Kathode erhöhte Reizbarkeit, Katelektrotonus, während sich in dem Grenzgebiet keine Aenderung der Reizbarkeit bemerklich macht. Kurz nach Aufhören des Stromes ist für kurze Zeit umgekehrt die Reizbarkeit in der Nähe der Anode erhöht, in der Nähe der Kathode aber vermindert. Schließlich bleibt in beiden Gebieten erhöhte Reizbarkeit zurück.

Die physikalisch-chemische Grundursache dieser physiologischen Erscheinungen kennen wir zur Zeit trotz vieler subtiler Untersuchungen nicht.

Die Kluft zwischen den rein physikalisch-chemischen und den physiologischen Beobachtungen ist aber trotzdem keine derartige, daß wir gänzlich auf jedes Verständnis jener physiologischen Vorgänge verzichten müssen.

Denn wir wissen, daß auch die Art des Reizes, rein physikalisch-chemisch betrachtet, an der Anode und der Kathode einen gewissen Gegensatz bedeutet. Warum also sollen die Wirkungen das nicht tun?

In allen Zellen, welche nahe an der Anode liegen, konvergieren unter dem Einflusse des Stromes die Anionen nach der einen Seite, die Kationen divergieren nach der anderen Seite (Fig. 5). In allen Zellen, welche nahe der Kathode liegen, ist das Umgekehrte der Fall. Diese Zellen werden also in entgegengesetztem Sinne durch den galvanischen Strom polarisiert. Die Zellen, welche im neutralen Gebiete liegen, nehmen eine Mittelstellung ein.

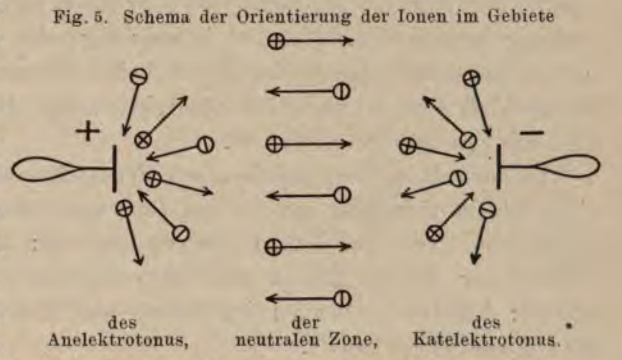


Fig. 5. Schema der Orientierung der Ionen im Gebiete des Anelektrotonus, der neutralen Zone, des Katelektrotonus.

Wenn uns diese Tatsachen auch noch keine unmittelbare Erklärung für die polare physiologische Wirkung des Stromes geben, so können wir doch immerhin hoffen, daß sich hier ein Weg von der physikalischen Chemie zur Physiologie in absehbarer Zeit noch finden wird.

Das Verhalten der einzelnen Organe zum galvanischen Strom.

28. Reaktion der motorischen Nerven. Das Zuckungsgesetz. An den Nerven sind gewisse Wirkungen des galvanischen Stromes bei weitem am besten studiert, weil sie diejenigen Organkomplexe sind, welche am deutlichsten auf gewisse elektrische Eingriffe reagieren. Dies gilt besonders von den motorischen und sensiblen Nerven; denn erstere vermögen unmittelbar erfolgende, objektiv wahrnehmbare Reaktionen, nämlich Zuckungen der zugehörigen Muskelgruppen, auszulösen, letztere unmittelbar erfolgende, subjektiv wahrnehmbare Reaktionen, nämlich spezifische Empfindungen. Es mag auch sein, daß dem Protoplasma der Nerven eine besonders hohe Reizbarkeit zukommt, ob-

wohl wir nicht wissen, ob nicht das Protoplasma anderer Organkomplexe denselben Grad von Reizbarkeit besitzt und sich deren Reaktionen nur unserer Beobachtung entziehen. Auf keinen Fall aber darf man die besondere Deutlichkeit, mit welcher die Nervenreaktionen zum Ausdruck kommen, dahin deuten, daß etwa die Nervenbahnen besonders gute, gewissermaßen adäquate Bahnen für galvanische Ströme abgeben. Wir wissen im Gegenteil, daß der elektrische Leitungswiderstand der Nerven größer ist als derjenige anderer Organteile, z. B. der Muskeln.

Die motorischen Nerven reagieren auf Schwankungen der Spannung der Elektroden, wenn diese Schwankungen in genügender Größe und Schnelligkeit vor sich gehen (vgl. S. 42), dadurch, daß sie in den zugehörigen Muskeln jedesmal eine sehr rasch verlaufende „blitzartige" Zuckung hervorrufen. Nur bei Anwendung sehr starker Ströme, wie sie in der Elektrotherapie in der Regel keine Verwendung finden, tritt bei Stromschluß eine tetanische Kontraktion der Muskeln ein, welche anhält, solange der Strom dauert.

In demselben Augenblicke, wo der galvanische Strom geschlossen wird, macht sich aber auch schon sein modifizierender Einfluß auf die Reizbarkeit der motorischen Nerven geltend: der Elektrotonus. Im Gebiete der Anode macht sich also Herabsetzung der Erregbarkeit geltend: Anelektrotonus; im Gebiete der Kathode erhöhte Erregbarkeit: Katelektrotonus.

In dem Augenblick, wo der Strom unterbrochen wird, entsteht für ganz kurze Zeit ein umgekehrter Zustand, den wir mit Kontrasterscheinungen vergleichen können: Erhöhung der Reizbarkeit im Gebiete der Anode, Herabsetzung derselben im Gebiete der Kathode.

Nach Ablauf dieser kurzen Periode bleibt für längere Zeit in beiden Gebieten erhöhte Erregbarkeit zurück.

Die Folgen dieser Vorgänge machen wir uns am besten klar, wenn wir uns die Anwendung des galvanischen Stromes unter Verhältnissen vor Augen führen, unter denen entweder die Wirkung der Anode oder die der Kathode das Bild allein beherrscht.

Dieser Fall tritt dann ein, wenn wir die eine Elektrode sehr klein wählen, und diese Elektrode möglichst nahe an den zu prüfenden Nerv heranbringen, die andere Elektrode aber möglichst groß wählen, und fern von dem Gebiete unserer Beobachtung an möglichst neutraler Stelle mit der Haut in Berührung bringen. Dann wird der Strom an der ersteren Elektrode sehr stark divergieren und sehr dicht, also sehr wirksam sein. Wir nennen deswegen diese Elektrode die differente Elektrode oder die Reizelektrode. An der anderen Elektrode wird der Strom sehr wenig divergieren und sehr wenig dicht sein, so wenig dicht, daß seine Wirksamkeit vollkommen gegenüber der anderen Elektrode zurück-

tritt. Wir nennen diese Elektrode deswegen die indifferente Elektrode.

Nehmen wir zunächst als Reizelektrode die Kathode und bringen wir diese möglichst nahe an den zu reizenden Nerv auf die Haut, während die Anode irgendwo als indifferente Elektrode angebracht ist.

Wenn wir nun mit ganz schwachen Spannungen der Elektroden beginnend die Kette immer abwechselnd schließen und wieder öffnen und jedesmal die Spannung der Elektroden etwas verstärken, so wird schließlich der Augenblick kommen, wo die Spannung der Elektroden groß genug geworden ist, um beim Schließen des Stromes den motorischen Nerv derart zu erregen, daß er seine Muskeln zu einer Zuckung veranlaßt: der Reiz hat seinen Schwellenwert erreicht.

Behalten wir nun die Versuchsanordnung, die in diesem Augenblicke herrscht, vollkommen bei mit dem einzigen Unterschiede, daß wir die Elektroden ihre Rollen tauschen lassen, d. h. daß wir nun die Reizelektrode zur Anode, die indifferente Elektrode zur Kathode machen. Wir können dies durch den sogenannten Stromwender (s. u. Fig. 24) mit einem Handgriffe ausführen. Wir werden nun bei Schließung des Stromes keine Zuckung beobachten, obwohl die Spannung der Elektroden ganz dieselbe geblieben ist als vorhin, wo der Reiz die Schwelle überschritt. Woher kommt das?

Im ersten Falle befand sich der gereizte Nerv im Wirkungskreise der Kathode, also im Katelektrotonus, d. i. im Zustande erhöhter Reizbarkeit. Im zweiten Falle befand er sich im Wirkungskreise der Anode, also im Anelektrotonus, d. i. im Zustande herabgesetzter Erregbarkeit.

Dieselbe Reizgröße, welche im ersten Falle dem Schwellenwerte entsprach, genügte daher im zweiten Falle nicht, eine Zuckung auszulösen. Sie war in diesem Falle unter dem Schwellenwerte geblieben.

Aus diesen Umständen ergibt sich das für Gesunde allgemein gültige Gesetz:

Bei Anwendung des galvanischen Stromes ist diejenige sichtbare Reaktion, welche c. p. bei der geringsten Spannung der Elektroden eintritt, Zuckung an der Kathode bei Schließung des Stromes (Kathodenschließungszuckung = KSZ). Erst bei höherer Spannung tritt Zuckung auch an der Anode auf (Anodenschließungszuckung = ASZ). Man pflegt diesen Satz durch die Formel auszudrücken:

$$KSZ > ASZ.$$

Bei weiterer Erhöhung der Spannung an den Elektroden erhalten wir an der Kathode als Reizelektrode schließlich nicht mehr eine Zuckung, sondern einen Tetanus, welcher während der ganzen Stromdauer bestehen bleibt (Kathodenschließungstetanus = KSTe). Doch

tritt diese Erscheinung erst dann auf, wenn der Strom eine Dichte erreicht hat, die sich den Empfindungsnerven der Patienten sehr unangenehm fühlbar macht und daher in der Elektrotherapie vermieden wird.

Dasselbe gilt von den Zuckungen, welche bei Oeffnung des Stromes eintreten. Sie haben deshalb für die Elektrotherapie keine Bedeutung, und seien nur erwähnt, weil sie das Bild von dem Ineinandergreifen von Zuckungsreiz und Elektrotonus im Prinzipe vervollständigen.

Die Kathode ruft beim Oeffnen des Stromes eine Zuckung (KÖZ) erst bei höheren Spannungen der Elektroden hervor, als die Anode (AÖZ). Es hat das seinen Grund darin, daß in demselben Augenblick, wo der Strom aufhört, für kurze Zeit die Reizbarkeit im Wirkungskreise der Anode erhöht, im Wirkungskreise der Kathode vermindert ist.

Aus den besprochenen Tatsachen ergibt sich das galvanische Zuckungsgesetz für den normalen und intakten menschlichen Nerven:

Die Zuckungen der Muskeln, welche von einem motorischen Nerven versorgt werden, treten bei steigender Spannung der Elektroden in folgender Reihenfolge auf: 1. Kathodenschließungszuckung; 2. Anodenschließungszuckung; 3. Anodenöffnungszuckung; 4. Kathodenöffnungszuckung.

Bei Erreichung einer gewissen Stromstärke, oder besser gesagt, einer gewissen Strom dichte tritt im Wirkungsbereiche der Kathode Tetanus während der Stromdauer ein.

Als Formel ausgedrückt lautet dies Gesetz so:

$$\begin{array}{l} \text{KSZ} > \text{ASZ} > \text{AÖZ} > \text{KÖZ} \\ \qquad\qquad\qquad\quad \text{KSTe.} \end{array}$$

Und zwar treten beim normalen Nerven die Zuckungen „blitzartig“, d. h. unmittelbar nach dem Reiz und mit sehr raschem Verlaufe ein.

Plötzliche Steigerung der Spannung an den Elektroden wirkt wie Schließung. Plötzliche Verminderung derselben wie Oeffnung des Stromes. Wendung des Stromes von der Anode als Reizelektrode auf die Kathode wirkt stärker als Kathodenschließung, Wendung von der Kathode auf die Anode stärker als Anodenschließung.

Diese Gesetze sind hauptsächlich für die Diagnostik von Bedeutung, die wir an dieser Stelle nicht eingehender behandeln können.

Bei rascher periodischer Wiederholung von Stromschließung und Stromöffnung findet eine kumulierende Wirkung der Reize in dem Sinne statt, daß statt einzelner Zuckungen Tetanus stattfindet und daß zugleich die Kontraktion der Muskeln einen höheren Grad erreicht als c. p. bei den Einzelentladungen.

Bei häufiger Wiederholung solcher Reize tritt mit der Zeit Ermüdung des motorischen Apparates und damit Herabsetzung der Erregbarkeit ein.

Nach der Durchströmung mit konstantem Strom bleibt dagegen in normalen Nerven erhöhte Erregbarkeit zurück.

Für die Therapie kommen neben der konstanten Durchströmung eigentlich nur die Schließungszuckungen in Betracht. Sie haben eine mehrfache Bedeutung. Erstens gestatten sie uns leicht diejenigen Punkte ausfindig zu machen, von welchen aus ein motorischer Nerv dem Strome am meisten zugänglich ist (Reizpunkte). Wir können dann durch konstante Durchströmung oft die Ernährungsverhältnisse eines erkrankten Nerven bessern. Zweitens gestatten sie uns eine besondere Form der Therapie, indem wir im stande sind, durch periodisches Oeffnen und Schließen des Stromes den motorischen Nerv sowohl, als auch die Muskeln, welche er versorgt, periodisch in Tätigkeit zu versetzen. Dies ist vor allem dann wertvoll, wenn die natürlichen Impulse, insbesondere die Willensimpulse, ganz oder zum Teil versagen. Wir können damit in einem gewissen Grade der Inaktivitätsatrophie vorbeugen. Endlich kann uns eine genaue Beobachtung der Reaktionen eines erkrankten Nerven, die manchmal von Tag zu Tag wechseln, wertvolle Fingerzeige für die Therapie und für die Prognose geben.

29. Die Reaktion der sensiblen Nerven. Die sensiblen Nerven geben im allgemeinen unmittelbar wahrnehmbare Reaktionen durch Empfindungen (Sensationen = S) nach demselben Gesetze, welches für die motorischen Nerven aufgestellt wurde. Die Wirkungen des galvanischen Stromes sind also offenbar in beiden Systemen ganz analog. Wir brauchen die Gründe für dies Verhalten deshalb nicht zu wiederholen.

Die Empfindungen im Gebiete der gereizten Nerven treten nach derselben Reihenfolge auf wie die Zuckungen im Gebiete der motorischen Nerven. Dagegen treten Empfindungen während der Stromdauer (Dauersensationen = DS) sehr leicht auf, und besonders die Endorgane der sensiblen Nerven sind es, welche auf einen bestehenden Strom an der Kathode sowohl wie an der Anode während der ganzen Stromdauer reagieren. Mit anderen Worten, man fühlt nicht nur die Oeffnung und Schließung des Stromes (die Schließungs- und Oeffnungssensationen treten allerdings scharf hervor), sondern auch das Bestehen eines Stromes.

Die Formel lautet also

$$\text{KSS} > \text{ASS} > \text{AÖS} > \text{KÖS}$$
$$\text{KDS. ADS.}$$

Nach den Applikationen bleibt in der Regel eine erhöhte Erregbarkeit zurück. Bei rascher periodischer Wiederholung von Stromschließung

und Oeffnung kann eine gewisse Kumulierung des Reizes stattfinden, doch tritt bei häufiger Wiederholung Ermüdung der betreffenden Nerven und dadurch bedingte Herabsetzung der Erregbarkeit ein.

Sehr wichtig für die Therapie ist der Umstand, daß die elektrische Reizung sensibler Nerven in hohem Grade geeignet ist, ganz allgemein diejenigen *Reflexe* auszulösen, zu deren Bahn der betreffende Nerv gehört. Namentlich die zahlreichen Reflexe, welche von der äußeren Haut her ausgelöst werden können, spielen in der Elektrotherapie eine große Rolle. Wir haben ja oben gesehen, daß und warum es viel leichter gelingt, direkt auf die äußere Haut kräftig einzuwirken, als auf die inneren Organe. Mit Hilfe der Reflexbahnen sind wir aber im stande, durch elektrische Hautreize auch indirekt Wirkungen im Innern zu erzielen.

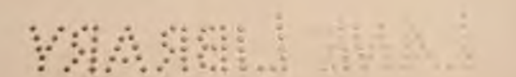
Hierdurch gewinnt die Haut als reflexauslösendes Organ eine besondere Bedeutung in der Elektrotherapie und letztere selbst nahe Beziehungen zu den anderen Zweigen der Therapie, welche ihre Grundlage hauptsächlich in der Auslösung von Hautreflexen haben, also insbesondere auch zur Hydrotherapie.

30. *Die Reaktion der höheren Sinnesnerven.* Auch die höheren Sinnesnerven zeigen in ihrem Verhalten zum galvanischen Strom deutliche Verwandtschaft ihrer Reaktionen mit dem Zuckungsgesetze.

Der Optikus bezw. die Retina reagiert mit Phosphenen. Bringt man die Reizelektrode auf das geschlossene Augenlid, so tritt bei wachsender Spannung der Elektroden zunächst bei Kathodenschließung (KS), also bei Schließung des Stromes, wenn die Kathode Reizelektrode ist, ein Bild auf (= KSB). Dieses Bild kann individuell etwas verschieden sein. In der Regel zeigt es eine Scheibe mit hellblauem Zentrum und gelbgrüner Peripherie. Dasselbe Bild erscheint auch bei Anodenöffnung (AÖB), ist aber bei gleicher Spannung der Elektrode c. p. *schwächer* als das Kathodenschließungsbild. Das *Anodenschließungsbild* (ASB) zeigt die Farbe umgekehrt, also in der Regel gelbgrünes Zentrum mit hellblauer Peripherie. Die Kathodenöffnung zeigt dasselbe Bild (KÖB), aber c. p. *schwächer*. Zuweilen entstehen auch an Stelle der Farbenbilder einfache Lichtbilder.

Der Akustikus zeigt ganz analoges Verhalten. Er antwortet auf Reize mit Gehörssensationen (Kl) und zwar zunächst bei Kathodenschließung (KSKl). Der Akustikus ist aber galvanischen Reizen viel weniger zugänglich als die bisher besprochenen Nerven, er reagiert daher erst bei verhältnismäßig sehr großer Spannung der Elektroden, deren Anwendung in dieser Gegend nicht empfehlenswert ist.

Der *Olfaktorius* reagiert ebenfalls auf galvanische Reize und zwar mit eigentümlichen Geruchsphänomenen. Analog dem Zuckungsgesetze tritt die Reaktion auch zuerst bei Kathodenschließung (=KSG) ein.



Ebenso zeigen die Geschmacksnerven spezifische Reaktionen auf den galvanischen Reiz. Aber sie zeigen ihre Reaktionen gleich den Endigungen der sensiblen Nerven, die während der Dauer des Stromes reagieren. Und zwar entsteht die ganz eigentümliche Erscheinung des galvanischen Geschmackes, welcher im Wirkungskreise der Kathode in einem alkalischen, im Wirkungskreise der Anode in einem sauren Geschmack besteht. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man den Strom von einer Wange quer durch die Mundhöhle hindurch zur anderen Wange schickt. Diese Erscheinung beruht offenbar nicht auf Reizung der Stämme der Geschmacksnerven, sondern ihrer Endigungen, und zwar auf einer Reizung der Nervenendigungen durch die elektrolytischen Produkte des Stromes (s. o.). Dies deutet darauf hin, daß die besprochenen Reaktionen der Nerven sehr nahe Beziehungen zu den elektrochemischen Erscheinungen der Wanderung der Ionen, also zu dem Grundprinzip des galvanischen Stromes haben. Die letzte Brücke der Erkenntnis ist zwischen den elektrochemischen und den physiologischen Erscheinungen allerdings noch nicht geschlagen.

31. Verhalten der nervösen Zentralorgane. Daß das Gehirn elektrischen Reizen zugänglich ist, wissen wir aus physiologischen Versuchen, bei welchen der elektrische Reiz unmittelbar auf die entblößte Hirnrinde wirkte, und diese Untersuchungen sind von sehr großer Bedeutung für die physiologische Erforschung der Gehirnrinde gewesen. Für die Elektrotherapie ist das Verhalten des Gehirnes zum galvanischen Strome noch sehr wenig erforscht, und es ist auch vorläufig wenig Aussicht vorhanden, daß wir bald gesicherte Grundlagen für die therapeutischen Wirkungen des galvanischen Stromes am Gehirne gewinnen.

Zwar ist es nach physikalischen Erwägungen geradezu selbstverständlich, daß diese Organe von der Körperoberfläche aus dem galvanischen Strome zugänglich sind. Es ist auch durch Tierversuche experimentell erwiesen, daß bei Galvanisierung von der Schädeloberfläche aus Ströme im Schädelinnern entstehen. An Patienten aber ist es schwer möglich, diese Tatsache praktisch zu verwenden. Denn wenn wir die Elektroden in solcher Spannung an den Schädel bringen, daß überhaupt intrakranielle Erscheinungen entstehen, gleichgültig, ob der Strom sagittal transversal oder auch in nicht symmetrischer Richtung verläuft, so entstehen jedesmal starke Reizungen einzelner Endorgane, des Labyrinthes, des Optikus, des Akustikus u. s. w., und diese trüben das Bild der reinen Wirkung auf die Zentralorgane. Es treten infolgedessen bei solchen Spannungen auch leicht sehr unangenehme Erscheinungen, Schwindel, Uebelkeit, Kopfschmerzen u. s. w., auf.

Ueber die Verwertbarkeit von Spannungen, welche unter der Reiz-

schwelle liegen, ist aber bisher noch keinerlei Klärung in der Elektrotherapie des Gehirns möglich gewesen.

Beim Rückenmark liegen die Verhältnisse weniger schwierig, weil dieses nicht wie das Gehirn in nächster Nachbarschaft sehr empfindlicher nervöser Endorgane liegt. Wir können also mit recht starken Spannungen auf das Rückenmark einwirken. Desto überraschender ist das Ergebnis solcher Versuche, daß man bisher nicht im stande gewesen ist, unter normalen Verhältnissen an Menschen irgendwelche unmittelbaren Folgen von elektrischen Einwirkungen auf das Rückenmark zu beobachten, obwohl wir wissen, daß das Rückenmark ebensogut wie irgend ein anderes Organ des menschlichen Körpers den elektrischen Strömen zugänglich ist.

Wir wissen, daß im Rückenmark höchst wichtige motorische und sensible Nervenbahnen verlaufen, daß höchst wichtige Ganglien dort liegen und daß hier die wichtigsten Reflexbögen verlaufen.

Wenn wir uns diese Tatsachen zusammenhalten, so wird die Meinung, welche in der Elektrotherapie vielfach ausgesprochen und unausgesprochen dahin geht, daß die Nervensubstanz gewissermaßen das Aufnahmeorgan Κατ᾽ ἐξοχὴν für elektrische Reize sei, doch sehr stark erschüttert. Und dieser Gesichtspunkt sollte der Auffassung zu gute kommen, daß die Elektrotherapie auch noch ganz andere Interessengebiete außer der Nervenheilkunde hat.

Die Tatsache, daß das Rückenmark keine unmittelbar sichtbaren Reaktionen für den galvanischen Strom liefert, schließt nicht aus, daß trotzdem Einwirkungen, vielleicht langsam ablaufende nutritive vorhanden sind. Etwas Sicheres hierüber können nur die Erfahrungen, die wir in einzelnen Rückenmarkskrankheiten bei Verwendung des Stromes machen, liefern.

In Bezug auf den Sympathikus sind die physiologischen Grundlagen der Elektrotherapie gleich Null. Es ist das leicht begreiflich, wenn man bedenkt, wie weit ausgesponnen das Netz des Sympathikus und wie tief im Innern des Körpers es zum größten Teile verborgen ist. Wir können daher im Patienten kaum jemals Wirkungen erzielen, welche sich auch nur zum größten Teil auf Beeinflussungen des Sympathikus allein zurückführen ließen.

Am aussichtsreichsten erscheint noch die Elektrisierung des Halssympathikus, und von dieser werden auch günstige Wirkungen bei gegewissen Neurosen berichtet.

Es erscheint jedoch nicht ausgeschlossen, daß Wirkungen auf den Sympathikus häufig bei verschiedenen elektrischen Prozeduren mit unterlaufen und auch an der therapeutischen Wirkung beteiligt sind. Es muß dies bei der kritischen Betrachtung der empirisch gewonnenen Heilerfolge wohl berücksichtigt werden.

Ueber die Wirkungen des Stromes auf die Sekretionsnerven unter Bedingungen, wie sie für die Elektrotherapie bestehen, wissen wir sehr wenig. Nur die Tatsache steht fest, daß unter Umständen durch galvanische Reizung solcher Nerven eine erhöhte Tätigkeit der betreffenden Drüsen herbeigeführt werden kann.

Die Reizung der Nerven beherrscht in der Elektrotherapie in hohem Grade das Gesamtbild. Denn es ist unter normalen Verhältnissen nicht möglich, irgend ein Organ elektrisch zu behandeln, ohne gleichzeitig Nervenstämme und vor allem unzählige Nervenenden im Gebiete des Stromes elektrisch zu beeinflussen. Diese Möglichkeit liegt nur bei solchen Patienten vor, wo der Nervenstamm, der ein Organ versorgt, vollkommen außer Funktion gesetzt ist.

Wenn nun auch die sehr lebhaften Reaktionen, welche wir durch die Nerven auslösen können, uns unter diesen Umständen von höchstem Werte sind, schon weil sie uns ein sehr gutes Mittel zum Studium elektrotherapeutischer Maßnahmen in die Hand geben, so ist doch damit nicht gesagt, daß der Strom nur dann wirksam sei, wenn er solche Reaktionen auslöst, und daß er nur durch diese Reaktionen wirksam sei.

Die Wirkungen elektrischer Einflüsse, welche unter der Reizschwelle liegen, entziehen sich zwar der unmittelbaren Beobachtung. Es ist aber kein Zweifel, daß solche Wirkungen vorhanden sind, und daß sie insbesondere auf die Ernährung entzündeter, verletzter, degenerierter und gelähmter Nerven von Einfluß sein können. Und dem entspricht auch die therapeutische Erfahrung, welche in solchen Maßnahmen ein hervorragendes Mittel zur Wiederherstellung erkrankter Nerven schätzt.

32. Die Reaktion der Muskeln. Die Muskeln reagieren durch Zuckungen, unter Umständen durch Tetanus auf galvanische Reizungen. Doch ist es, so lange die motorischen Nerven nicht außer Funktion gesetzt sind, unmöglich, einen Muskel zu reizen, ohne gleichzeitig seine motorischen Nerven mitzureizen. Und da die motorischen Nerven auf die Reize leichter reagieren als die Muskeln, beruhen die Muskelreaktionen, welche wir erhalten, in der Regel auf der Reizung der motorischen Nerven. Sie decken sich also mit denjenigen Reaktionen, welche wir soeben besprochen haben.

Man spricht zwar von einer indirekten Reizung der Muskeln, wenn man die Reizelektrode auf den zuführenden Nervenstamm außerhalb des Muskels aufsetzt, und von einer direkten Reizung, wenn man die Reizelektrode auf den Muskel selbst bringt, um ihn zur Kontraktion zu bringen. Aber auch diese Reizung ist nicht in dem Sinne direkt, daß dabei die Vermittlung der motorischen Nerven umgangen würde. Es erfolgt vielmehr die Reizung der Nervenästchen im Muskel selbst.

Daher kommt es, daß die Muskeln an denjenigen Stellen am reiz-

barsten erscheinen, wo die motorischen Nerven, welche in ihnen verlaufen, dem elektrischen Strom am besten zugänglich sind. Man nennt diese Punkte Reizpunkte oder motorische Punkte (points d'élection). Sie liegen meist nahe der Stelle, wo der Nerv in den betreffenden Muskel eintritt.

Aus diesen Betrachtungen ergibt es sich ohne weiteres, daß sich die Ergebnisse der sogenannten direkten Muskelreizung vollständig mit den oben besprochenen Ergebnissen der Reizung motorischer Nerven decken.

Der einzige Unterschied ist der, daß die sogenannte direkte Reizung bei teilweiser Lähmung eines motorischen Nerven noch ein positives und normales Ergebnis haben kann, wenn die indirekte Reizung kein Resultat oder ein abnormes ergibt, wenn nämlich zwischen der Stelle des indirekten Reizes und dem Muskel die erkrankte Nervenstelle liegt.

Es gilt also auch für die sogenannte direkte Reizung der Muskeln das Zuckungsgesetz, nach welchem die Muskeln mit „blitzartigen" Zuckungen in folgender Reihenfolge antworten

$$KSZ > ASZ > AÖZ > KÖZ$$

und bei starken Strömen außerdem KSTe eintritt.

Alles dort Gesagte trifft auch hier wörtlich zu (s. o.).

Eine wirkliche direkte Reizung der Muskeln ist nur dann möglich, wenn der motorische Nerv vollkommen außer Tätigkeit gesetzt ist. An Patienten wird allerdings unter diesen Umständen auch niemals der Muskel normal, sondern er wird in seiner Ernährung schwer geschädigt sein.

Es hat den Anschein, als ob die nicht blitzartig, sondern träge, „wurmförmig" verlaufende Kontraktion, welche man unter solchen Umständen beobachtet, eine Erscheinungsform direkter Muskelreaktion sei.

Das Herz zeigt die Reaktionen eines Muskels, was am bloßliegenden Herzen zwar nachgewiesen, für die Elektrotherapie aber ohne praktische Bedeutung ist, weil wir aus verschiedenen Gründen das Herz nicht in der Weise reizen können wie die Muskeln der Bewegungsapparate. Wohl aber werden von dem Einfluß konstanter Ströme auf Herzneurosen (nervöse Palpitationen) günstige Erfolge berichtet.

Die glatten Muskeln reagieren auf den galvanischen Strom ebenso wie die quergestreiften. Daher entstehen peristaltische Bewegungen des Darmes, Kontraktionen des Uterus, der Blasenmuskulatur u. s. w. auf galvanische Reize. Ebenso hat man sehr gute Heilerfolge bei Paresen der glatten Muskeln, des Darmes, der Sphinkteren u. s. w.

Sehr wichtig für die Therapie sind die Einwirkungen des Stromes auf die Gefäßmuskulatur. Die erste Folge elektrischer Reize auf

die Gefäße ist eine Kontraktion der Gefäßmuskeln, welche sich am deutlichsten durch Verengerung der kleinsten Arterien und in deren Gefolge durch Anämie des betreffenden Gebietes äußert. Nach einiger Zeit tritt eine lang anhaltende Erweiterung der betreffenden Gefäße und dementsprechende Hyperämie ein. Diese Erscheinungen können wir an den Hautgefäßen unmittelbar beobachten, und es ist auch anzunehmen, daß sie dort beträchtlich stärker ausgebildet sind als im Innern des Körpers, weil der Strom auf die Haut viel intensiver einzuwirken vermag als auf das Innere des Körpers. Diese Erweiterung der Hautgefäße ist auch von großer Bedeutung für die Therapie, sie spielt in den meisten physikalischen Heilmethoden eine große Rolle, da sie es ermöglicht, große Blutmassen nach beliebigen Stellen der Haut oder auch nach der Haut überhaupt abzulenken. Dieser Vorgang wirkt auf die Blutverteilung im Innern des Körpers zurück und ist daher sowohl an den lokalen „ableitenden“ Wirkungen der Hautreize als auch an den allgemeinen Wirkungen derselben auf die Zirkulation, den Blutdruck, die Atmung, auf die Nervenfunktionen im ganzen und auf die Psyche ebenso beteiligt als die rein reflektorischen Vorgänge, welche nur durch die Nervenbahnen vermittelt werden.

Es ist durchaus nicht unwahrscheinlich, daß ähnliche vasomotorische Reaktionen durch den elektrischen Reiz auch in inneren Organen ausgelöst werden und ihren Anteil an den therapeutischen Wirkungen der elektrischen Ströme haben. Doch fehlen uns hierüber sichere Kenntnisse.

33. Wirkung auf die Drüsen. Ueber die Wirkungen des galvanischen Stromes auf das Parenchym der drüsigen Organe ist leider sehr wenig bekannt. Wir wissen aus Tierversuchen, daß auch dieses auf den galvanischen Reiz spezifisch, z. B. durch vermehrte Sekretion, reagiert, wobei offenbar die Reizung der betreffenden Nerven einen wesentlichen Einfluß ausübt.

Wie aber die Dinge am Patienten verlaufen, entzieht sich zur Zeit unserer Kenntnis. Auch empirisch ist die therapeutische Wirkung des galvanischen Stromes auf Leber, Nieren, Milz, Schilddrüse, Lymphdrüsen, Testikel u. s. w. noch nicht genügend klargestellt, und für die betreffenden Organe kommt daher zur Zeit die Elektrotherapie sehr wenig in Betracht. Zwar kennen wir allerlei Einzelheiten über Wirkungen, z. B., daß unter Umständen eine vergrößerte Milz durch elektrische Prozeduren verkleinert werden kann, auch werden bei manchen Krankheiten Erfolge gerühmt, z. B. bei Morbus Basedowii die Anwendung konstanter Ströme auf die Struma empfohlen, doch ist es zu allgemein ausgesprochenen Indikationen, wie etwa bei der Behandlung von Muskel- und Nervenkrankheiten, leider noch nicht gekommen. Es bleibt auf diesem Gebiete der wissenschaftlichen Forschung noch sehr viel zu tun übrig.

34. Wirkung auf das Blut. Ueber den Einfluß des galvani-

schen Stromes auf das Blut ist ebenfalls sehr wenig bekannt. Es herrschen hier ganz eigenartige Verhältnisse, welche eine etwas ausführlichere Betrachtung verdienen. Das Blut ist das einzige Organ, welches keine Nerven enthält. Es stellt außerdem gewissermaßen ein zirkulierendes Organ dar. Das Plasma würde dem Stützgewebe, die Blutkörperchen würden dem Parenchym des Organes vergleichbar sein. Während wir nun alle anderen Organteile beliebig lange in den Wirkungsbereich der Elektroden bringen können, gelingt das für gewöhnlich beim Blute nicht, weil nur dieses fortwährend mit großer Geschwindigkeit zwischen den Elektroden hindurchgleitet. Man hat deswegen schon den Vorschlag gemacht, in geeigneten Fällen die Blutzirkulation durch Esmarchsche Binde oder dergleichen zum Stehen zu bringen, um intensivere galvanische Einflüsse auf das Blut sowohl als auf die Organe, welche es durchströmt, zu ermöglichen. Diese Anregung verdient Beachtung, hat aber meines Wissens bisher nicht zu wesentlichen praktischen Ergebnissen geführt.

Eine weitere Eigentümlichkeit in den Beziehungen des galvanischen Stromes zum Blut ist folgende. Das Blutplasma enthält Eiweiß und Salze in wässeriger Lösung, und infolge seines reichen Gehaltes besonders an Kochsalz, sehr reichlich Ionen (Na⊕, ⊖Cl, $\ominus_2CO_3$ u. s. w.). Es ist also ein guter elektrolytischer Leiter. Die Blutkörperchen dagegen enthalten das Eiweiß nicht in gelöster, sondern in gebundener organisierter Form als Protoplasma. Sie lassen überhaupt kein Na eindringen, und die anderen Salze (KCl u. a.) enthalten sie nicht in Form freigelöster Salze oder von Ionen (K⊕, Fe⊕, ⊖Cl), sondern als Bestandteile elektrisch neutraler komplizierter Eiweißverbindungen.

Die Blutkörperchen sind daher Nichtleiter des elektrischen Stromes. Daraus ergibt sich mit großer Wahrscheinlichkeit der Schluß, daß der galvanische Strom nicht als Protoplasmareiz auf die roten Blutkörperchen wirkt.

Dagegen wissen wir, daß plötzliche sehr starke elektrische Erschütterungen (Entladungen von Leydener Flaschen) sehr stark auf das Blut wirken. Sie sind im stande, die Blutkörperchen zu zertrümmern und das Blut lackfarben zu machen. Darin liegt kein Widerspruch gegen das oben Gesagte, denn elektrische Entladungen üben eine sehr starke mechanische Wirkung auf die Nichtleiter, die Dielektrika, aus. Vermögen doch z. B. Entladungsfunken Papier- und Kautschukblätter glatt zu durchschlagen.

Außerdem kommt aber für das Blut die Ionenwanderung insofern in Betracht, als ihm elektrolytisch fremdartige Stoffe durch den galvanischen Strom zugeführt werden können (s. o. S. 27), welche das Blut mit sich fortreißt, und welche dann eventuell ihre spezifischen

Allgemeinwirkungen im Körper entfalten können, wie z. B. das Morphinion.

35. Wirkungen auf die interstitiellen Bestandteile des Gewebes. Auch auf das interstitielle Gewebe und die interstitiellen Flüssigkeiten übt der galvanische Strom einen unverkennbaren Einfluß aus. Wir haben schon (s. o. S. 38) erwähnt, daß auf der Haut an der Berührungsfläche der Anode eine Austrocknung, an der Kathode eine Spannung der Haut zu stande kommt. Zahlreiche Beobachtungen sprechen ferner dafür, daß unter dem Einflusse des galvanischen Stromes flüssige Exudate, z. B. der Pleura, unter Umständen rascher zur Resorption gelangen. Aber auch bindegewebige pathologische Gebilde, Narben, Gelenkankylosen u. dergl. lassen sich durch energische Einwirkungen galvanischer Ströme oft ganz auffallend rasch zum Schwinden bringen [8]) [3]).

36. Das Verhalten der Haut zum galvanischen Strome gibt uns aus mehrfach erörterten Gründen das drastischste Bild von den geschilderten vielfachen Beziehungen des galvanischen Stromes zum lebenden Gewebe, und darum sei zum Schluß dieses Abschnittes dieses Bild kurz zusammenfassend geschildert.

Läßt man einen kräftigen galvanischen Strom etwa mit der Dichte von 3 Milliampere pro Quadratzentimeter durch Elektroden, welche mit physiologischer Kochsalzlösung befeuchtet sind, plötzlich eintreten und wieder verschwinden, so erhält man eine zuckende Schmerzempfindung, welche der Regel folgt KSS > ASS > AÖS > KÖS. Während der Stromdauer entsteht an beiden Elektroden ein brennender Schmerz (KDS und ADS). Diese Erscheinungen beruhen auf Reizung der sensiblen Nervenenden. Ferner entsteht zunächst Kontraktion der Hautpapillen, Cutis anserina. Diese Erscheinung beruht auf Reizung der Hautmuskeln. Es entsteht erst Anämie, dann Hyperämie der Haut: Reizung der Vasomotoren. Die Stromintensität beginnt bei gleichbleibender Spannung der Elektroden zu steigen: Herabsetzung des Hautwiderstandes durch sukzessives Eindringen der Bestandteile der physiologischen Kochsalzlösung in die isolierende Epidermis. Die Haut sinkt an der Anode ein, wird an der Kathode aufgetrieben: Kataphorese.

Bei längerer Stromdauer tritt Verätzung an beiden Elektroden ein, Säureätzung beziehungsweise Schwermetallätzung an der Anode, Laugenätzung an der Kathode: elektrolytisches Eindringen körperfremder Ionen: $H\oplus$ oder $Cu\oplus_2$ oder $Zn\oplus_2$ etc. an der Anode, $\ominus OH$ an der Kathode.

Waren die Elektroden von vornherein nicht mit der indifferenten physiologischen Kochsalzlösung, sondern mit differenten Lösungen: Kokain-, Quecksilber-, Chrom-, Salzlösungen u. dergl., befeuchtet, so

äußern diese sofort ihren spezifischen chemischen Einfluß auf die Epidermis und die Haut zeigt die entsprechenden physiologisch-toxischen Reaktionen. Auch das Verhalten des Hautwiderstandes hängt von der Beschaffenheit dieser Lösungen ab; das Eindringen mancher Ionen erniedrigt, das Eindringen anderer Ionen erhöht den Hautwiderstand, das Eindringen dritter Ionen läßt ihn unverändert. Dementsprechend sinkt oder fällt die Stromintensität bei gleicher Spannung der Elektroden, oder sie bleibt konstant[3]).

Als Nachwirkung bleibt eine Hyperämie und Hyperästhesie der Haut zurück, soweit nicht die chemischen Wirkungen der angewandten Flüssigkeiten noch ganz besondere chemische Effekte zu stande bringen (z. B. Anästhesie und Anämie nach Kokaineinwirkung und Verätzung nach Einwirkung zerstörender Ionen). Diese Hyperämie und Hyperästhesie kann sehr hohe Grade erreichen, sie kann den Charakter und Verlauf der Entzündung annehmen und tagelang anhalten.

B. Andere Stromarten.

Aus den geschilderten Wirkungen des galvanischen Stromes können wir uns leicht das Verständnis für die Wirkungen anderer Stromarten ableiten.

Charakteristisch für den galvanischen Strom ist die konstant bleibende Spannung der Elektroden. Diese Spannung läßt sich zwar willkürlich einstellen, sie behält aber c. p. denjenigen Wert unverändert bei, den wir ihr geben. Infolgedessen entstehen auch konstante Strömungen im menschlichen Körper, d. h. ein gleichmäßiges Hingleiten der Ionen nach der Anode und nach der Kathode mit seinen charakteristischen Wirkungen.

Alle anderen Stromarten unterscheiden sich von dieser Anordnung dadurch, daß die Spannung der Elektroden periodisch wechselt. Es wechselt deshalb auch die Wanderungsgeschwindigkeit und bei gewissen Strömen auch die Richtung der wandernden Ionen periodisch. Ströme, bei welchen die Ionen immer dieselbe Richtung beibehalten und nur periodisch ihre Geschwindigkeit ändern, nennen wir intermittierende, pulsierende, zerhackte Gleichströme. Ströme, bei welchen die Ionen auch ihre Richtung periodisch ändern, nennen wir Wechselströme.

37. Der faradische Strom. Sein Wesen. Bei weitem die größte Bedeutung neben dem galvanischen Strom hat in der Elektrotherapie der faradische Strom, und zwar in erster Linie der sogenannte sekundäre faradische Strom. Er ist dadurch charakterisiert, daß die Elektroden mehrmals in der Sekunde plötzlich das Vorzeichen (+, −) ihrer Spannung ändern, so daß die Elektrode, welche soeben Anode war, sagen wir mit einer Spannung von 40 Volt, im nächsten Augenblick eine negative Spannung erhält, also zur Kathode wird u. s. w.

Den Vorgang können wir uns einigermaßen klar machen, wenn wir uns vorstellen, ein galvanischer Strom würde mehrmals in der Sekunde unterbrochen und dann sofort gewendet. Die Spannung der Elektroden und die Frequenz der Unterbrechungen lassen sich regulieren.

Seine physikalischen Wirkungen. Die Folge dieses Vorganges ist die, daß die Ionen nicht wie beim galvanischen Strom während der ganzen Stromdauer mit konstanter Geschwindigkeit in derselben Richtung wandern. Sie werden vielmehr fortwährend mit vibrierender Bewegung in der Strombahn vor- und rückwärts geworfen, so daß sie schließlich in keiner Richtung sich wesentlich entfernen. Es sind deshalb mit dem faradischen Strom auch nicht die elektrolytischen Wirkungen verbunden, welche das konstante Wandern der Ionen in ein und derselben Richtung herbeiführt.

Die physikalisch-chemischen Wirkungen des faradischen Stromes treten also hinter denjenigen des galvanischen Stromes weit zurück.

Seine physiologischen Wirkungen sind nichtsdestoweniger sehr bedeutend und sehr wahrnehmbar. Die Ursache ist leicht verständlich. Der faradische Strom erfüllt in hohem Maße die Forderungen, welche an einen Protoplasmareiz gestellt werden. Er bewirkt eine sehr kräftige und dabei sehr schnell und häufig wiederholte Erschütterung des molekularen Gleichgewichts im Protoplasma gerade durch das vibrierende Hin- und Herwerfen der Ionen.

Der faradische Strom zeigt daher alle diejenigen rein physiologischen Wirkungen, welche wir beim Oeffnen und Schließen galvanischer Ströme beobachtet haben, verstärkt durch die kumulierende Wirkung rasch wiederholter Reize.

Auf die motorischen Nerven wirkt der faradische Strom bei genügender Intensität in der Weise ein, daß er die zugehörigen Muskeln in tetanische Kontraktion versetzt. Daß er die Muskeln nicht wie der galvanische Strom zunächst in Schließungs- beziehungsweise Oeffnungszuckungen versetzt, erklärt sich daraus, daß jeder einzelne Polwechsel, deren wir in der Sekunde eine ganze Anzahl haben, einen Reiz für sich darstellt (Schließungszuckung). Der faradische Strom stellt also eine ganze Reihe von Reizen mit kurzen Intervallen dar, so daß der Muskel von einem Reiz zum anderen nicht Zeit hat, wieder zu erschlaffen. Solche Serienreize erzeugen einen Tetanus von der Dauer der Reizserie, und zwar infolge Kumulierung (Superposition) der Reize eine stärkere Kontraktion als der einzelne Reiz.

Genau ebenso wie auf diese indirekte Reizung von motorischen Nerven aus reagiert der Muskel gegen den faradischen Strom auch auf die sogenannte „direkte“ Reizung, welche tatsächlich auch eine indirekte vom Nerven ausgehende Reizung ist (s. o.).

Der faradische Strom ist also ein hervorragendes Mittel, wir können unbedenklich sagen das hervorragendste Mittel, die Muskeln künstlich in Tätigkeit zu versetzen. Das ist für erkrankte Muskeln von größter Wichtigkeit, ganz besonders, wenn sie infolge von pathologischen Verhältnissen in den Nervenbahnen den Willensimpulsen nicht oder ungenügend gehorchen.

Doch ist auch die faradische Behandlung gesunder Muskeln bei manchen Krankheiten indiziert und wirkt günstig auf das Allgemeinbefinden.

Die Folge systematischer Faradisation der Muskeln ist erhöhter Stoffwechsel, erhöhte Wärmeproduktion, erhöhte Durchblutung der betreffenden Muskeln. Welche eingreifende Bedeutung solche Einflüsse auf den Ablauf der gesamten Stoffwechselprozesse im menschlichen Körper haben muß, lehrt die Betrachtung, daß die Muskulatur des menschlichen Körpers nicht nur an Masse alle anderen Gewebe überwiegt, sondern daß sie auch das „lebendigste" Gewebe darstellt, den Hauptkonsumenten der Nahrung, den Hauptproduzenten der Auswurfstoffe und der Wärme, also den Hauptfaktor für den Stoffwechsel überhaupt.

In Bezug auf ihre Muskelwirkungen hat die Faradisation nahe Beziehungen zu anderen physikalischen Heilmethoden, welche sich mit Anregung der Muskeltätigkeit beschäftigen, insbesondere der Gymnastik und der Massage.

Sie hat in vielen Fällen, infolge ihrer bequemen Anwendungsweise und der Leichtigkeit, mit welcher sie dosiert und lokalisiert werden kann, ihre ganz eigenartigen, unersetzbaren Vorzüge. In anderen Fällen ergänzt sie sich glücklich mit den anderen Heilmethoden und besonders auch mit der Hydrotherapie.

Durch seine Wirkungen auf die Gefäßmuskeln ist der faradische Strom auch ein hervorragendes Rubefaziens gleich dem galvanischen Strome. Er hat vor diesem den Vorzug, daß man bei seiner Anwendung ganz unbesorgt vor Verätzungen der Haut sein kann.

Für die sensiblen Nerven ist der faradische Strom ebenfalls ein vorzügliches Reizmittel. Während der Dauer des faradischen Stromes reagieren die sensiblen Nervenenden mit einer ganz eigentümlichen Empfindung, welche je nach der Dichte des Stromes vom leichten Prickeln bis zum unerträglichen Schmerze sich steigert. Nach der Faradisation zeigt sich herabgesetzte Schmerzempfindlichkeit, während die sonstige Sensibilität anfangs auch herabgesetzt, nachträglich aber erhöht ist.

Infolge der Verminderung der Schmerzempfindlichkeit ist man im stande, bei langsamer Steigerung der Stromintensität ohne irgendwelche Beschwerden zu Stromintensitäten zu gelangen, welche unerträglich schmerzhaft gewesen wären, wenn man sie unmittelbar angewandt hätte.

So wirkt der faradische Strom einerseits schmerzmildernd, anderseits vermag er krankhaft herabgesetztes Hautgefühl zu steigern. Und zwar zeigt sich sehr häufig, daß bei Wiederholung der Behandlung der Erfolg jedesmal von längerer Dauer ist, bis schließlich Heilung eintritt.

Auch zur Auslösung von Hautreflexen ist der faradische Strom sehr geeignet. Er hat in dieser Beziehung mit dem galvanischen Strome die Wirksamkeit und die Möglichkeit, die Wirkung fein abzustufen, gemein, und dabei den großen Vorzug, daß Aetzeffekte vollkommen ausgeschlossen sind. Die lokale und auch die allgemeine Faradisierung der Haut im Sinne einer sensiblen Reizung ist daher eine sehr brauchbare und weitverbreitete Methode, welche vor anderen hautreizenden Methoden (Hydrotherapie, Einreibungen, Einpinselungen der Haut etc.) in manchen Fällen entschieden den Vorzug verdient.

Der Körper bietet dem faradischen Strom einen scheinbar viel geringeren Widerstand als dem konstanten Strom. Es hat das seinen Grund darin, daß bei Wechselströmen der Körper fortwährend elektrisch geladen und wieder entladen wird und sich bei der Faradisation daher fortwährend im variablen Zustande befindet (s. o. S. 14).

So betrug bei Elektroden von 64 qcm Fläche auf Nacken und Stirn der faradische Widerstand nur 250 Ω, während er für Elektroden mit konstanter Spannung von 4,2 Volt 1663 Ω betrug[9]).

Der faradische Strom dringt also beträchtlich leichter in die Haut ein als der konstante. Und dies gilt für alle Wechselströme und Entladungen.

38. Der sinusoidale Strom. Sein Wesen. Eine gewisse Aehnlichkeit mit dem faradischen Strom hat der sinusoidale oder Drehstrom. Haben wir den ersteren mit einem galvanischen Strom verglichen, welcher periodisch in rascher Folge unterbrochen, gewendet, wieder unterbrochen und wieder gewendet wird u. s. w., so können wir den sinusoidalen Strom mit einem galvanischen Strome vergleichen, welcher nicht ruckweise, sondern ganz gleichmäßig von der Intensität 0 auf eine gewisse regulierbare Höhe anschwillt, ebenso gleichmäßig wieder zur Intensität 0 abschwillt, dann in umgekehrter Richtung wieder auf dieselbe Höhe anschwillt, abschwillt u. s. w. (Fig. 6, I u. II).

Während also die graphische Darstellung des faradischen Stromes eine Zickzacklinie mit scharfen Ecken zeigt, gibt uns die graphische Darstellung des Drehstromes eine sanft gerundete Kurve, eine sogenannte Sinuskurve. Daher auch der häßliche Name sinusoidaler Strom.

Dieser Strom beruht darauf, daß die Spannungen der Elektroden in derselben Weise anschwellen und abschwellen.

Nun besitzt aber der sinusoidale Strom vor anderen Strömen die Eigentümlichkeit, daß wir bei ihm nicht nur mit zwei Elektroden arbeiten

können, die in der geschilderten Weise abwechselnd die Rolle der Anode und Kathode übernehmen, und zwischen welchen infolgedessen **ein** sinusoidaler Strom entsteht. Wir können vielmehr drei (und theoretisch gesprochen auch mehr) Elektroden verwenden, derart, daß zwischen allen drei Elektroden je ein sinusoidaler Strom entsteht; wir haben es also in diesem Falle nicht mehr mit einem einfachen sogenannten Einphasenstrom, sondern mit einem dreifachen sog. Dreiphasenstrom zu tun.

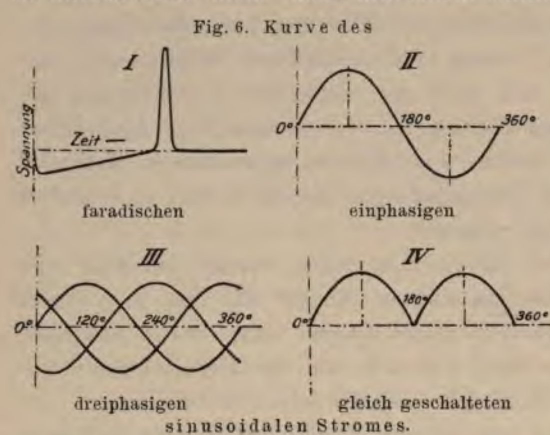


Fig. 6. Kurve des faradischen, einphasigen, dreiphasigen, gleich geschalteten sinusoidalen Stromes.

Bei dem Dreiphasenstrom kommen drei Elektroden zur Verwendung, die wir mit I, II, III bezeichnen wollen, welche alle drei ununterbrochen und gleichmäßig ihre Spannung wechseln. In dem Augenblick, wo z. B. die Elektrode I die Spannung Null hat, hat Elektrode II eine positive, Elektrode III eine negative Spannung, sagen wir z. B. von je 2 Volt. Die Kationen wandern nun immer in der Richtung von der positiven zur weniger großen positiven und zur negativen Spannung; die Anionen wandern in umgekehrter Richtung. Wir haben also in diesem Augenblick folgende Ströme:

$$1)\ \mathrm{II} \underset{\oplus\rightarrow}{\overset{\leftarrow\ominus}{}} \mathrm{I}$$

$$2)\ \mathrm{I} \underset{\oplus\rightarrow}{\overset{\leftarrow\ominus}{}} \mathrm{III}$$

$$3)\ \mathrm{II} \underset{\oplus\rightarrow}{\overset{\leftarrow\ominus}{}} \mathrm{III}$$

Und zwar ist das Spannungsgefälle und infolgedessen die Stromintensität in diesem Augenblick zwischen II—III doppelt so groß als zwischen II—I und I—III (Fig. 6 III).

Jede einzelne Elektrode wechselt nun ihre Spannung, indem dieselbe von Null auf einen positiven Wert steigt, von diesem wieder auf Null sinkt, dann auf einen negativen Wert fällt und wieder auf Null ansteigt. Nennen wir diesen Verlauf 0, +, 0, —, 0 eine **Phase**, so ist die Spannung der drei Elektroden immer um je $^1/_3$-Phase voneinander verschieden. Denken wir uns in der Fig. 104 die Punkte I, II, III in gleichen Abständen sich in der Pfeilrichtung längs der Kurve bewegend, so bekommen wir ein Bild von dem gegenseitigen Verhältnis der Elektrodenspannungen im Verlaufe der ganzen Phase.

Seine Wirkungen. Der Drehstrom nimmt gewissermaßen eine mittlere Stellung zwischen dem faradischen und dem galvanischen Strom ein. Er läßt die Ionen nicht wie der galvanische Strom immer in derselben Richtung wandern, sondern läßt sie ihre Richtung periodisch wechseln wie der faradische Strom. Er läßt aber nicht wie der faradische Strom die Ionen lediglich vibrieren, sondern er läßt sie immerhin eine Wegstrecke mit anfangs wachsender, nachher abnehmender Geschwindigkeit erst in der einen, dann in der anderen Richtung wandern. Er erzeugt keine so heftige Erschütterung des molekularen Gleichgewichtes im Protoplasma wie der faradische Strom und keine elektrolytischen Erscheinungen, die dem Faradayschen Gesetze folgen, wie der galvanische Strom. Wenn wir den galvanischen Strom mit dem gleichmäßigen Fließen von Wasser vergleichen können, den faradischen Strom mit einer zitternden Erschütterung desselben, so können wir den Drehstrom mit einem harmonisch hin und her gehenden Wellenschlag vergleichen.

Dem entspricht auch die physiologische Wirkung des Drehstromes. Sie hält die Mitte zwischen der Wirkung des galvanischen und des faradischen Stromes[10]).

Er erzeugt wie der faradische Strom bei genügender Stromstärke Tetanus der Muskeln. Er wirkt aber weniger stark als jener reizend auf die Enden der sensiblen Nerven. Man kann daher kräftigere Einwirkungen auf die Muskeln ausüben, ehe störende Schmerzempfindungen eintreten. Anderseits wirkt der sinusoidale Strom schmerzstillend, und soll auch die Resorption von Exsudaten befördern. Auch hat er mit dem galvanischen Strome noch das gemein, daß er auf erkrankte Muskeln noch einwirken kann, wenn der faradische Strom versagt. Dagegen braucht man nicht wie beim galvanischen Strome, selbst bei sehr intensiven Einwirkungen, Verätzungen der Haut zu befürchten.

39. Der pulsierende Gleichstrom ist eine Abart des sinusoidalen Stromes, welche dadurch charakterisiert ist, daß der Strom zwar wie der Sinusstrom gleichmäßig vom Werte Null anschwillt, dann wieder abschwillt und wieder den Nullpunkt erreicht, daß er aber nun nicht in umgekehrter Richtung wie der Sinusstrom, sondern in derselben Richtung anschwillt und wieder abschwillt (Fig. 6 IV). Der pulsierende Gleichstrom ist also kein Wechselstrom, Anode bleibt Anode und Kathode Kathode, er wechselt nur die Größe, nicht das Vorzeichen (+, —) der Spannung periodisch. Dieser Strom ist gleich einem galvanischen Strom, dessen Elektroden — z. B. durch Aus- und Einschalten von Widerständen — in entsprechender Weise beeinflußt werden.

Die Ionen wandern also in diesem Strome mit periodisch wechselnder Geschwindigkeit, aber mit unveränderter Richtung.

Die Wirkungen des pulsierenden Gleichstromes entsprechen diesen Verhältnissen. Sie stehen zwischen den Wirkungen des eigentlichen Drehstromes und denjenigen des galvanischen Stromes.

Der pulsierende Gleichstrom erzeugt Tetanus wie der Drehstrom, aber er erzeugt auch die elektrolytischen Erscheinungen des galvanischen Stromes nach dem Faradayschen Gesetze.

40. Der Leducsche intermittierende Gleichstrom[11]. Sein Wesen. An dieser Stelle möge eine Stromart erwähnt werden, welche zwar noch nicht in der Therapie festen Fuß gefaßt hat, aber wegen ihrer ganz eigenartigen Wirkung vielleicht eine große Zukunft, auf alle Fälle großes wissenschaftliches Interesse für den Elektrotherapeuten hat.

Wenn man in einen galvanischen Strom einen Unterbrecher einschaltet, welcher bewirkt, daß der Strom in der Sekunde etwa 85mal unterbrochen wird, und zwar derart, daß sich die Dauer der Unterbrechungen zu der Stromdauer etwa verhält wie 1:5, und wenn man den Elektroden etwa die Spannung von 15 Volt gibt, so erhält man einen Typus des Leducschen Stromes, welcher jedoch sowohl in Bezug auf die Zahl der Unterbrechungen, als auf das Verhältnis zwischen Dauer des Stromes und der Unterbrechung, als auch der Spannung der Elektroden variiert werden kann.

Die Wirkung dieses Stromes scheint die zu sein, daß er die nervösen Organe, welche er trifft, während der Stromdauer außer Funktion setzt, ohne sie zu schädigen. Bei peripheren Nerven erzeugt dieser Strom Anästhesie. Bei der Durchströmung des Gehirnes von Hunden stellte der Entdecker dieser eigenartigen Ströme fest, daß bei vorsichtigem Einschleichen des Stromes, d. h. bei ganz allmählicher Steigerung der Spannung, vollkommene Narkose entstand, welche sich stundenlang aufrecht erhalten ließ und in demselben Augenblick, wo der Strom aufhörte zu wirken, verschwand, ohne irgendwelche merkliche Störungen im Wohlbefinden der Versuchstiere zu hinterlassen.

Auch an sich selbst stellte der Entdecker analoge Wirkungen des Stromes fest. Doch sind diese Ströme noch viel zu wenig erprobt, um eine Anwendung derselben auf die Zentralorgane von Patienten schon jetzt zu rechtfertigen, besonders nachdem Tierversuche ergeben haben, daß sie bei mangelhafter Ausführung letal wirken können. Der Strom soll daher durchaus nicht beim jetzigen Stande unserer Kenntnisse für die Therapie empfohlen werden — das wäre auch sehr gegen die Absichten des Entdeckers —, sondern nur seines großen allgemeinen Interesses wegen erwähnt werden.

41. Kondensatorentladungen[9][12]. Ihr Wesen. Wir haben oben (S. 12) gesehen, daß beim Schließen eines galvanischen Stromes zwei aufeinanderfolgende Perioden unterschieden werden müssen: 1. die

Periode des variablen Zustandes, in welcher der Körper geladen wird; 2. die Periode des stationären Zustandes, in welcher der Körper geladen ist und lediglich als Leiter eines konstanten Stromes zu betrachten ist.

Da nun die Reizerscheinungen, welche wir an sensiblen und motorischen Apparaten beobachten, in die Periode des variablen Zustandes fallen, so liegt der Gedanke nahe, daß diese Reizerscheinungen reiner zum Ausdruck kommen werden, wenn wir die Periode des stationären Zustandes ganz fortfallen lassen, mit anderen Worten, wenn wir gar keinen galvanischen Strom, sondern nur die momentane Entladung einer bestimmten regulierbaren Elektrizitätsmenge unter einer bestimmten regulierbaren Spannung anwenden. Diesem Zwecke entsprechen die Kondensatorentladungen. Es wird ein Kondensator von $\frac{1}{2}$, 1 oder $1\frac{1}{2}$ Mikrofarad Kapazität auf eine beliebige, etwa zwischen Null und 70 Volt schwankende Spannung geladen und dann durch den Körper hindurch entladen. Diese Entladungen können einzeln oder auch automatisch in rascher Reihenfolge vor sich gehen.

Ihre Wirkungen. Entsprechend den oben ausgeführten Betrachtungen haben die Kondensatorentladungen die Wirkung von Stromschließungen. Sie eignen sich vorzüglich zu diagnostischen Zwecken, und geben für diese im allgemeinen klarere Resultate als der galvanische Strom. Rhythmisch schnell aufeinanderfolgende Entladungen (Serienentladungen) haben ähnliche Wirkungen wie der faradische Strom; sie bieten aber in der Diagnostik ebenfalls klarere Verhältnisse wie dieser, indem sie durch absolute Maße (Volt $\times$ Kapazität $\times$ Frequenz) gemessen werden können.

Aber auch für die Therapie sind die Kondensatorentladungen sehr schätzenswert. Sie gestatten uns z. B. zunächst in absolutem Maße festzustellen, auf welche Reizgröße ein erkrankter Muskel oder Nerv sichtbar reagiert, um diese minimale Reizgröße dann gleich therapeutisch zu verwenden. Die Veränderungen dieser minimalen Reizgröße von einer Sitzung zur anderen geben gleichzeitig Fingerzeige über den Erfolg unserer Therapie.

42. Hochgespannte Elektrizität. Die allein maßgebende Rolle spielen aber diese Ladungsvorgänge bei der Behandlung mit sogenannter hochgespannter Elektrizität.

Bei den bisher besprochenen, niedriggespannten Strömen zeigten die Elektroden eine Spannung, welche in der Regel unter 100 Volt liegt, und diese Elektroden führten dem Körper verhältnismäßig große Elektrizitätsmengen zu.

Demgegenüber ist die hochgespannte Elektrizität dadurch charakterisiert, daß die Elektroden eine viel höhere Spannung zeigen, die von einigen Tausend bis in die Hunderttausende von Volt beträgt, so daß die

Ladung den Widerstand der Luft zu durchschlagen und in Funkenform aus der Elektrode in den Körper überzutreten vermag. Der menschliche Körper wird also seinerseits durch solche überspringenden Funken oder auch durch direkte Berührung mit den Elektroden geladen. Der Ladungsvorgang selbst nimmt ganz außerordentlich kurze Zeit in Anspruch, seine Folge ist nicht nur ein Uebertritt von elektrisch geladenen Molekülen von den Elektroden in den Körper, sondern auch eine höchst rapid verlaufende oszillierende Erschütterung der Ionen des Körpers (oszillierende Entladung).

Nun wissen wir, daß mit sehr kleinen Elektrizitätsmengen schon sehr hohe Spannungen erzielt werden. Eine Kugel von der Kapazität = 1 Mikrofarad würde ungefähr einen Durchmesser von 4,5 km haben. Diese Kugel würde durch eine Ladung mit 1 Coulomb auf eine Spannung von 1 Million Volt gebracht werden!

Gegenüber diesen gigantischen Verhältnissen sind diejenigen, mit welchen wir es in der Elektrotherapie zu tun haben, verschwindend klein. Es sind daher auch ganz geringe Elektrizitätsmengen, welche dabei in Bewegung gesetzt werden, selbst wenn solche Entladungen mit sehr hohen Spannungen vor sich gehen, und wenn sie sich periodisch sehr rasch wiederholen. Wir haben es also mit sehr hohen Spannungen und mit sehr geringen Stromintensitäten zu tun. Das Ohmsche Gesetz $\left(J = \frac{E}{W}\right)$ kann auf diese Vorgänge schon deshalb keine Anwendung finden, weil sich der menschliche Körper gegenüber diesen Entladungen fortwährend in variablem Zustande befindet (s. o. S. 14). Da diese Ströme den enorm großen Widerstand der Luft durchschlagen, spielt außerdem der Widerstand der Haut für dieselben eine ganz nebensächliche Rolle.

Wir können auch bei den hochgespannten Strömen wie bei den niedriggespannten gleichgerichtete und Wechselströme unterscheiden.

Die Franklinsche Elektrizität ist dadurch charakterisiert, daß die beiden Elektroden die eine negative, die andere positive Spannung zeigen, welche vom Nullpunkt bis auf einige 10000 Volt steigen, sich entladen, wieder ansteigen u. s. w. Je größer die Luftschicht ist, welche zwischen den Elektroden und der Haut liegt, eine desto größere Spannung müssen die Elektroden erreichen, ehe die Entladung durch die Luftschicht hindurch stattfindet, während die Entladung schon bei verhältnismäßig niedriger Spannung stattfindet, wenn wir die Elektroden von vornherein nahe an die Haut heranbringen. Infolgedessen entstehen dicke helle Funken mit hörbarem Knacken im ersteren Falle, und im letzteren Falle feine Fünkchen oder diffuse Lichterscheinungen (Büschelentladungen, elektrischer Wind).

Die Wirkung dieser Ströme hängt von der Spannung ab, mit

welcher sie sich entladen. Kräftige Funken bilden einen sehr kräftigen Reiz, welcher zum Teil auf der mechanischen durchschlagenden Wirkung, zum Teil wohl auf Wärmewirkung, zum Teil auf elektrischer Erschütterung des molekularen Gleichgewichts im Protoplasma beruht. Es treten lebhafte Reaktionen der Haut danach auf, aber es können auch durch oberflächlich verlaufende motorische Nerven Zuckungen ausgelöst werden.

Der Strom läßt sich also als Hautreiz und als Muskelreiz verwenden.

Sichtbare elektrochemische Wirkungen nach dem Faradayschen Gesetze treten wegen der geringen Stromstärke nicht ein. Wohl aber eine andere chemische Wirkung, welche allen hochgespannten Entladungen eigen ist, die Bildung von Ozon. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Entwicklung von Ozon bei der Wirkung hochgespannter Ströme eine wichtige Rolle spielt.

Bei den Büschelentladungen und dem elektrischen Winde treten die Reizerscheinungen zurück, während die Ozonentwicklung sehr merkbar ist. Diesen „stillen Entladungen“ werden günstige Wirkungen auf Parästhesien, Neuralgien und allgemeine Neurosen nachgerühmt.

Die Hochfrequenzströme. Von den Franklinschen Strömen unterscheiden sich die Hochfrequenzströme, welche meist unter dem Namen der d'Arsonval- oder Teslaströme bekannt sind, im Prinzip dadurch, daß an den hochgespannten Elektroden ein periodischer Polwechsel und zwar ein enorm schneller Polwechsel stattfindet, welcher die Frequenz von mehreren 100 000 in der Sekunde erreicht.

Nun wird die Reizwirkung elektrischer Wechselströme, wenn sie die Frequenz von 5000 Polwechsel in der Sekunde übersteigen, immer geringer, je größer die Frequenz wird. Man kann daher bei diesen enorm frequenten Wechselströmen auch enorme Spannungen anwenden, ohne irgendwie bedrohliche Reizwirkungen der elektrischen Entladungen befürchten zu müssen. Man ist dadurch in die Lage versetzt, bei den Hochfrequenzströmen Spannungen von mehreren 100 000 Volt anzuwenden.

Bringen wir eine Elektrode mit dem menschlichen Körper in Berührung, so entstehen Verhältnisse, welche denen in einer Leydener Flasche vergleichbar sind. Die innere Belegung derselben würde durch die leitenden Massen im Innern des Körpers dargestellt, der Isolator (das Glas) durch die Epidermis und die äußere Belegung durch die Elektroden, die hochgespannten und hochfrequenten Polwechsel derselben werden demnach im Innern ähnliche Erscheinungen induzieren. Wenn wir dagegen den ganzen Patienten oder Teile desselben in eine Drahtspirale bringen, durch welche der Strom geleitet wird, so soll dieser Induktionsströme im Patienten erzeugen (Fig. 138).

Praktisch wichtiger erscheint die lokale Anwendung des Stromes. Bringen wir die Elektroden in die Nähe der Haut, so entstehen Funken ganz ähnlich wie bei Anwendung der Franklinschen Elektrizität. Und zwar entstehen auch hier kräftige Funken, wenn eine beträchtliche Luftstrecke durchschlagen werden muß, kleine Fünkchen (Büschelentladungen), wenn wir die Elektroden ziemlich nahe an die Haut bringen.

Die Wirkungen der Hochfrequenzströme. Den Induktionswirkungen der Hochfrequenzströme werden von manchen Autoren sehr intensive Einflüsse auf den Stoffwechsel, den Blutdruck und die Zirkulation zugeschrieben. Von anderen Autoren werden diese Wirkungen bestritten. Die Akten hierüber sind noch nicht geschlossen.

Sehr kräftige Wirkungen haben aber die direkten Entladungen auf die Haut. Sie wirken einerseits als sehr kräftiger Hautreiz, wobei wohl in erster Linie der eigentümliche mechanische und der thermische Reiz in Betracht kommen. Bei zu starken Anwendungen kann Verbrennung der Haut eintreten. Auch kommt die Lichtwirkung der Funken in Betracht, welche außerordentlich reich an ultravioletten Strahlen sind. Von letzteren wissen wir, daß sie sehr intensiv auf die Haut wirken. Außerdem entsteht sehr reichlich Ozon, mit welchem die Haut imprägniert wird.

Therapeutisch wirken diese Ströme daher als ein sehr gutes Derivans und Rubefaziens.

Außerdem kommt den Strömen aber eine beträchtliche spezifische Wirkung auf die erkrankte Haut zu. Insbesondere wird krankhaftes und quälendes Hautjucken oft sehr schnell durch dieselben beseitigt, und Ekzeme und andere Exantheme heilen oft rasch unter ihrem Einflusse, auch wenn sie schon lange bestanden haben.

---

2. Kapitel.

Die Technik der Elektrotherapie*).

A. Die elektromedizinischen Apparate.

Unsere elektromedizinischen Apparate haben den Zweck, elektrische Kraft in geeigneter Form dem Patienten zuzuführen.

43. Der primitivste Apparat. Es gibt eine Anordnung, bei welcher die Erzeugung der elektromotorischen Kraft und ihre Zuführung zum Körper des Patienten in der denkbar primitivsten Form vereinigt sind: das Cinisellische Element. Dasselbe sei weniger wegen praktischer als wegen seiner prinzipiellen Wichtigkeit kurz beschrieben.

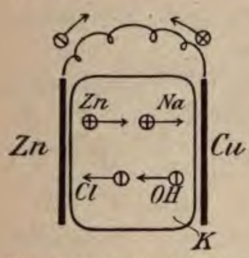
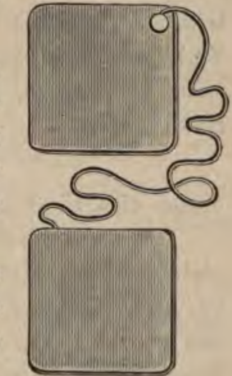


Fig. 7. Cinisellisches Element in Funktion. *K* Körper des Patienten.

Eine Platte von Zinkblech und eine Platte von Kupferblech sind durch einen umsponnenen Draht miteinander leitend verbunden (Fig. 8). Das ist der ganze Apparat. Beide Platten werden an verschiedenen Stellen fest auf die Haut gelegt, durch Heftpflasterstreifen oder dergleichen befestigt, und bleiben längere Zeit, tagelang, liegen.

Es entsteht dann ein galvanischer Strom zwischen den Platten, welcher durch den Draht einerseits, durch den menschlichen Körper anderseits zirkuliert (Fig. 7).


Fig. 8.

Das erklärt sich folgendermaßen: Beide Platten stehen in leitender Verbindung mit der Haut. Die Leitung wird noch dadurch verbessert, daß sich bald eine Flüssigkeitsschicht zwischen den Platten und der Haut kondensiert, da der Haut die Möglichkeit der Verdunstung genommen ist.

Nun ist das Zink ein Metall, das eine sehr große Neigung besitzt, sich in Wasser zu lösen. Metalle lösen sich aber nur in der Form von Ionen und zwar von Kationen. Es geht also Zinkion ($Zn\oplus_2$), d. i. elektrisch geladenes Zink, in Lösung.

Dadurch wird der Metallplatte nicht nur Zink entzogen, sondern gleichzeitig Katelektron, d. i. positive Elektrizität. Die Folge ist, daß

*) Die Figuren 24—30, 92, 99, 100, 107—114, 148 sind von der Firma W. A. Hirschmann in Berlin, die Figuren 8, 13, 18, 22, 31—73, 76—91, 96—98, 139—147, 150 von der Firma Reiniger, Gebbert u. Schall in Erlangen, die Figuren 94, 101, 105, 117—138, 149 von der Firma „Sanitas" in Berlin freundlichst zur Verfügung gestellt worden.

die Zinkplatte eine negative Spannung erhält, d. i. ein Ueberwiegen von Anelektron.

Dem Wasser auf der Haut wird aber nicht nur Zink zugeführt, sondern auch das mit diesem verbundene Katelektron, also positive Elektrizität. Die Lösung nimmt also eine positive Spannung an.

Die Kupferplatte zeigt diese Erscheinungen nicht, weil die Neigung des Kupfers sich in Wasser zu lösen verschwindend gering ist. Sie erhält aber durch den verbindenden Draht von der Zinkplatte aus eine negative Ladung, und zieht daher Kationen, also vorwiegend Na⊕ aus der Flüssigkeitsschicht, welche sie berührt, an. Gleichzeitig gehen an der Zinkplatte immer neue Zinkionen in Lösung, so daß die Entstehung und der Ausgleich der Spannung an den Elektroden einen stationären Charakter annimmt. Das ist ein galvanischer Strom.

Es treten also andauernd Zinkionen aus dem Zink in die Lösung und dafür an der Kupferplatte Natriumionen aus der Lösung an das Kupfer. Hier gibt das Na⊕ sein Elektron ab, reagiert in statu nascendi mit dem Wasser und bildet da

$$Na + H_2O = NaOH + H$$

also Wasserstoff, der in Gasform entweicht, und Natronlauge, die sich sofort wieder dissoziiert:

$$NaOH + \oplus\ominus = Na\oplus + \ominus OH.$$

Da aber das Kupfer durch den Draht vom Zink her eine negative Spannung erhält, treibt es seinerseits die Kationen in die Flüssigkeit, es tritt also nun ⊖OH vom Kupfer her in die Flüssigkeit, dafür an der Zinkfläche ⊖Cl an das Zink. Am Zink angekommen gibt das Chlorion seine Ladung ab, reagiert mit dem metallischen Zink und bildet Chlorzink:

$$2\,Cl + Zn = 2\,ZnCl_2,$$

dieses dissoziiert sich in Zn⊕ und 2⊖Cl u. s. w.

Im menschlichen Körper aber, zwischen den Elektroden, tritt ein gleichmäßiges Strömen aller Anionen (vorwiegend ⊖Cl) nach dem Zink zu, aller Kationen (vorwiegend Na⊕) nach dem Kupfer zu ein, welches den geschilderten Austausch vermittelt, und seinerseits einen galvanischen Strom im lebenden Gewebe vorstellt nach den Gesichtspunkten, welche wir oben (S. 21) entwickelt haben.

Bei dieser Anordnung bilden die beiden Metallbleche also gleichzeitig einen Bestandteil eines Elementes und die Stromzuführung, die Elektroden. Und der menschliche Körper stellt zugleich ebenfalls einen Bestandteil des Elementes und das Behandlungsobjekt dar. Er erzeugt sich gewissermaßen den Strom selbst, der auf ihn einwirkt.

Die Ströme, welche durch diese Anordnung entstehen, sind zwar nur sehr schwach. Dennoch genügen sie bei langer Dauer, um deutliche elektrochemische Wirkungen auf der Haut zu erzielen, und zwar Zinkätzung infolge des Eindringens von Zinkion $Zn\oplus_2$ an der Zinkelektrode und Laugenätzung infolge des Eindringens von Hydroxylion $\ominus OH$ an der Kupferelektrode. Diese Vorrichtung ist zu primitiv, um in der Elektrotherapie eine große Rolle zu spielen. Doch entstehen die gebräuchlichen Batterieströme in ganz analoger Weise. Nur ist bei diesen der menschliche Körper nicht wie beim Cinisellischen Element in den inneren Stromkreis, sondern in den äußeren Stromkreis der Elemente geschaltet.

Stromquellen.

44. Primärelemente. Eine Zink- und eine Kupferplatte werden in ein Gefäß getaucht, das eine elektrolytische Lösung enthält, z. B. Schwefelsäurelösung. In einer solchen Lösung beginnen nun mit erhöhter Energie die vorhin beschriebenen Vorgänge: An der Zinkplatte gehen Zinkionen in Lösung, an der Kupferplatte entladen sich dafür äquivalente Mengen von Kationen, in diesem Falle also von Hydrogenionen $H\oplus$ der Schwefelsäure ($2H\oplus + \ominus_2SO_4$).

Die Folge ist eine negative Spannung des Zinkes, eine positive des Kupfers. Leite ich diese Spannungen durch Leitungsdrähte und Elektroden dem menschlichen Körper zu, so bildet nunmehr die vom Zink abgeleitete negative Elektrode die Kathode, die vom Kupfer abgeleitete positive Elektrode die Anode (Fig. 9).

Fig. 9. Zink-Kupferelemente in Funktion. *K* Körper des Patienten.

Ich bekomme nun ein Wandern aller Kationen des menschlichen Körpers nach der Kathode, aller Anionen nach der Anode. Und da die chemischen Vorgänge im Elemente die Spannung der Elektroden konstant erhalten, bekomme ich auch ein konstantes Wandern der Ionen: einen galvanischen Strom im menschlichen Körper.

Statt der Kombination Zink-Schwefelsäure-Kupfer kann man das Element im Prinzip auch durch jede beliebige andere Kombination von zwei verschiedenen metallischen Leitern (zu diesen zählt auch die Kohle) mit einem elektrolytischen Leiter herstellen. Aluminium, Eisen, Nickel, Magnesium, Zink und Kadmium bilden bei solchen Kombinationen als leicht lösliche Metalle den negativen, Quecksilber, Kupfer, Gold, Platin, Silber als schwer lösliche Metalle und auch die Kohle den positiven Pol. Die gebräuchlichste Zusammenstellung ist aber das Zink-Kupferelement, außerdem ist die Kombination Zink-Kohle häufig. Als

Elektrolyte dienen vorwiegend verschiedene Säuren, aber auch Laugen und Salzlösungen. Für den Arzt ist es hauptsächlich wichtig das Prinzip zu kennen, in Bezug auf die Einzelheiten sei auf die speziellen Lehrbücher der Elektrotechnik verwiesen.

Die nach dem Typus Zink-Schwefelsäure-Kupfer gebauten Elemente haben den Nachteil, daß sie im Gebrauche bald an elektromotorischer Kraft einbüßen, weil sich Wasserstoff, nach längerer Zeit auch Zink auf der Kupferplatte elektrolytisch niederschlägt (Polarisierung der Elemente).

Man sucht dem vorzubeugen durch sogenannte unpolarisierbare Anordnungen. Man steckt die Kupferplatte in ein poröses Gefäß, welches mit Kupfersulfatlösung und überschüssigem Kupfersulfat gefüllt ist und bringt nun dieses Gefäß in die Lösung, welche die Zinkplatte umspült (Fig. 10, Typus des Daniell-Elementes). Nun tritt kein Wasserstoff, sondern nur Kupferion an die Kupferplatte, und die Kupfersulfatlösung ergänzt sich fortwährend aus dem Ueberschuß von ungelöstem Kupfersulfat. Diese Elemente sind deswegen viel konstanter als die einfachen Säuremetallelemente.

Die Spannung, welche an den Elektroden entsteht, ist ausschließlich abhängig von der Kombination zweier Metalle mit einem (oder mehreren) Elektrolyten, und für jede derartige Kombination (z. B. reines Zink, reines Kupfer, 10prozentige Schwefelsäure) von einem ganzbestimmten Voltwerte, einerlei, wie die Größenverhältnisse des Elementes sind. Sie hängt nicht von der Masse und den Oberflächen, sondern ganz allein von der elektrochemischen Beschaffenheit der Bestandteile des Elementes ab.

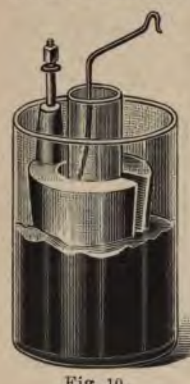


Fig. 10.

Die Leistungsfähigkeit eines Elementes hängt dagegen von den Oberflächen der Metallplatten ab. Wenn man sehr große Strommengen verbraucht, wie z. B. zur Elektropunktur, nimmt man Elemente mit großen Platten, bei welchen sich die stromerzeugenden elektrochemischen Vorgänge auf große Flächen verteilen. Die großen Elemente bieten außerdem den Vorteil, daß sie in ihrem Innern dem Stromdurchgang einen verhältnismäßig sehr geringen Widerstand bieten (innerer Widerstand der Elemente), da die Strombahn im Elemente entsprechend den großen Platten sehr breit ist, und der Widerstand eines Leiters dem Querschnitte der Strombahn umgekehrt proportional ist.

45. Batterien. Man schaltet meist mehrere Elemente zusammen, und zwar ist die Schaltung eine verschiedene, je nach dem Zwecke, den man verfolgt. Eine Anzahl solcher gemeinsam geschalteter Elemente bildet eine Batterie. Schaltet man alle Zinkpole auf der einen, alle Kupferpole auf der anderen Seite nebeneinander (Parallelschaltung der

Elemente), so erhält man genau dasselbe Verhältnis, wie wenn man nur je eine sehr große Zink- und Kupferplatte benutzte. Die Anordnung ist quantitativ leistungsfähiger und bietet einen geringeren inneren Widerstand, wie das einzelne Element, die Spannung der Batterie ist aber dieselbe, wie die jedes einzelnen Elementes.

Anders ist es, wenn man jedesmal den Kupferpol des einen Elementes mit dem Zinkpol des nächsten Elementes leitend verbindet, und den Strom von dem ersten Zinkpol und dem letzten Kupferpol aus ableitet (Serienschaltung, Hintereinanderschaltung der Elemente, Figur 11). Jetzt kommt eine der Anzahl der Elemente entsprechende Vervielfältigung elektromotorischer Kraft zu stande.

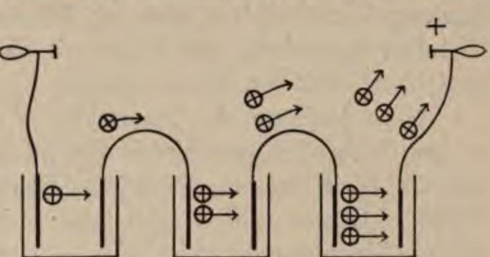


Fig. 11. Batterie in Serienschaltung. Schema der Wirkung.

Im Element I schickt das Zink Zinkion mit einer bestimmten Energie in die Lösung, ladet hierdurch die Lösung positiv. Die positive Ladung teilt sich dem Kupfer im Element I mit, und da dieses mit dem Zink im Element II leitend verbunden ist, auch diesem. Das Zink im Element II schickt nun seinerseits mit derselben Energie wie Zink I Zinkion in die Lösung, dazu kommt aber noch die elektrische Ladung, die es aus Element I empfangen hat, und die es ebenfalls weitergibt. Kupfer II erhält also eine doppelt so große Ladung wie Kupfer I, gibt diese doppelte Ladung an Zink III weiter. Dieses fügt der Ladung seinerseits denselben Beitrag bei u. s. w. Die Folge ist die,

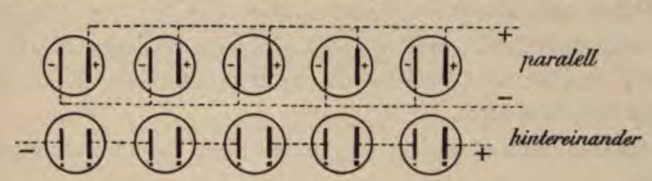


Fig. 12. Schema der Parallel- und Serienschaltung.

daß sich bei Serienschaltung mehrerer Elemente ihre Spannungen addieren. Gleichzeitig addieren sich aber auch die inneren Widerstände, da der Strom sämtliche Elemente hintereinander durchfließen muß.

46. Sekundäre Elemente, Akkumulatoren. Nahe Verwandtschaft mit den bisher besprochenen sogenannten Primärelementen haben die Sekundärelemente, die Akkumulatoren. Unter diesem Namen verstehen wir Vorrichtungen, welche es ermöglichen, Ströme, die von Primärelementen, von Dynamomaschinen oder aus sonstigen beliebigen Stromquellen erzeugt sind, zu späterem Gebrauche an beliebigem Orte

aufzuspeichern. Die elektromotorische Kraft wird also durch die Akkumulatoren konserviert und transportabel gemacht.

Die Akkumulatoren bestehen im Prinzip aus zwei Bleiplatten, welche wir in eine verdünnte Schwefelsäurelösung tauchen. Dieses System gibt an und für sich keinen Strom. Sendet man aber einen Strom hindurch, so wird die Platte, welche mit der Anode in Verbindung ist, durch Ausscheidung von Sulfation $\ominus_2SO_4$ oxydiert und überzieht sich mit einer Schicht von Bleisuperoxyd. Die Platte, welche mit der Kathode in Verbindung ist, beschlägt sich mit Wasserstoff (Wasserstoff wird von den Metallen absorbiert), und bildet mit diesen einen Ueberzug von sehr fein verteiltem Blei, von Bleischwamm.

Nach Aufhören des „Ladestromes" sind also die vorher ganz gleichartigen Bleiplatten verschieden geworden, und zwar derart, daß nunmehr die mit Bleischwamm überzogene Platte mit großer Energie Bleiionen $Pb\oplus_2$ in Lösung schickt und daher elektromotorisch wirkt, ganz ebenso wie die Zinkplatte der Primärelemente. Diese Bleiplatte bildet die Kathode des Sekundärelementes. Schließen wir die Kette dieses Elementes, so entsteht ein „Entladungsstrom", dessen Richtung derjenigen des Ladestromes entgegengesetzt ist. Durch diesen Strom beginnt das Bleisuperoxyd, welches die andere Platte überzieht, sich wieder zu reduzieren, da sich Wasserstoffion aus der Schwefelsäurelösung dort elektrolytisch abscheidet, und der Bleischwamm, welcher die andere Platte überzieht, beginnt sich zu oxydieren, da sich Sulfation dort elektrolytisch ausscheidet.

Die Kraft des Elementes erlischt, wenn beide Platten wieder den alten Zustand erreicht haben, sie kann jedoch jederzeit durch einen neuen Ladestrom wieder hervorgerufen werden.

Die Polarisationserscheinungen, welche uns bei den Primärelementen sehr unerwünscht sind, weil sie die elektromotorische Kraft der Kette schwächen, sind es also, welche die elektromotorische Kraft der sekundären Elemente erzeugen.

Die Akkumulatoren haben gegenüber den Primärelementen Vorzüge und Fehler.

Die Unterhaltung der Primärelemente ist kostspielig und oft auch umständlich, während die Akkumulatoren nach einmaliger Anschaffung Strom in beliebiger Menge liefern. Sind sie erschöpft, so können sie jederzeit an einer geeigneten Stromquelle, insbesondere an Beleuchtungsanlagen, wieder geladen werden. Wo solche elektrische Beleuchtungsanlagen fehlen, geschieht die Ladung vorteilhaft durch Thermoelemente, welche sonst in der Elektrotherapie kaum mehr Verwendung finden. Die Akkumulatoren bleiben jahrelang brauchbar und bilden also eine stets bereite, billige und bequeme Stromquelle, da wo Gelegenheit ist, sie wieder zu laden.

Ihr Fehler beruht hauptsächlich in ihrem hohen Gewicht, durch welches sie vor allem für transportable Apparate wenig geeignet sind.

47. Dynamoströme. Neuerdings werden mit Recht die Apparate, welche die Stromquelle in der Gestalt von Elementen selbst enthalten, mehr und mehr verdrängt von solchen Apparaten, welche an elektrische Beleuchtungsanlagen als Stromquelle angeschlossen werden können.

Auf die Herstellung der Beleuchtungsströme näher einzugehen, ist hier nicht der Platz. Sie werden von Dynamomaschinen geliefert, deren Prinzip darauf beruht, daß Elektromagnete und Drahtspulen durch mechanische Kraft derart aneinander vorbeigeführt werden, daß in den Drahtspulen durch Induktion Ströme entstehen (vgl. S. 96). Und zwar liefern diese Maschinen entweder Gleichstrom oder Wechselstrom.

In der Regel wird für die Speisung der elektromedizinischen Apparate nur Gleichstrom verwendet. Liefert die Lichtzentrale Wechselstrom, so wird dieser erst durch besondere Vorrichtungen (Wechselstrom-Gleichstromtransformatoren) in Gleichstrom verwandelt. Auf die Einrichtung dieser Transformatoren können wir nicht ausführlich eingehen. Ihr Prinzip beruht darauf, daß der gelieferte Wechselstrom zum Antrieb einer kleinen Gleichstromdynamomaschine verwendet wird.

Nur die Sinusoidalstromapparate können wir direkt an Wechselstromanlagen anschließen, da ihr Strom mit dem Wechselstrom der Dynamomaschinen identisch ist.

Die Benutzung des Beleuchtungsstromes als Quelle für elektrotherapeutische Ströme hat den großen Vorteil, daß wir eine immer konstant bleibende Kraft zur Verfügung haben, während die Elemente im Gebrauche schnell nachlassen. Ein zweiter Vorteil besteht darin, daß wir den Apparat ganz von Chemikalien befreien, welche in den Elementen enthalten sind, und häufig ungünstig auf die Metallteile der Apparate einwirken.

Auch stellt sich der Stromverbrauch aus der Beleuchtungsquelle im allgemeinen billiger als der Verbrauch aus Elementen, ganz besonders, wenn wir die Tatsache mit in Rechnung ziehen, daß gute Anschlußapparate im allgemeinen viel weniger Reparaturen kosten als Elementapparate. Es arbeitet sich also leichter und billiger mit ersteren. Wo keine Gelegenheit zum Anschluß an Beleuchtung ist, bleibt allerdings keine Wahl.

Die Anschaffungskosten für Anschlußapparate und Elementapparate sind annähernd dieselben.

Der eigentliche elektromedizinische Apparat.

Die Aufgabe der elektromedizinischen Apparate im engeren Sinne beruht nun darin, die elektromotorische Kraft, welche

uns die verschiedenen Stromquellen gewissermaßen als Rohprodukt liefern, zu einem Mittel zu machen, das zu Heilzwecken geeignet ist.

Einer der wichtigsten Teile dieser Aufgabe ist es, die Spannung an den Elektroden, welche den Strom dem Patienten zuführen sollen, derart zu regeln, daß sie die verschiedenen therapeutisch brauchbaren Stromformen im Organismus erzeugen.

48. Das Verhältnis zwischen Spannung, Widerstand und Stromintensität bei unseren Apparaten. Für die Elektrotherapie kommen galvanische Ströme bis zu etwa 100 Milliampere Intensität in



Fig. 13.

Betracht. Das Ohmsche Gesetz besagt nun, daß die Stromintensität von dem Verhältnis der Spannung an den Elektroden zu dem Widerstande in der Kette bestimmt wird. $J = E : W$.

Der Widerstand der Kette beruht fast ausschließlich auf dem Widerstand der Haut, wenigstens wenn wir den Strom perkutan einverleiben. Wir haben gesehen, daß der Widerstand in der Epidermis sehr verschieden ist und daß außerdem der Widerstand vor allem von der Größe des Querschnittes abhängt, auf welchem der Strom die Epidermis passiert, also von der Größe der Elektroden. Wenn z. B. eine gegebene Epidermisschicht bei einer Elektrode von 1 qcm Querschnitt x Ohm Widerstand leistet, so wird sie c. p. bei einer Elektrode von 10 qcm Quer-

schnitt nur den zehnten Teil, also $\frac{x}{10}$ Ohm, bei einem Querschnitt von 100 qcm einen Widerstand von $\frac{x}{100}$ Ohm leisten.

Nun kommen große Stromintensitäten nur bei Verwendung sehr großer Elektroden in Betracht (NB. bei perkutaner Anwendung des Stromes!), bei denen also der Widerstand sehr gering ist.

Bei solch großen Elektroden können wir den Widerstand der Haut bis auf 600 Ω und darunter herabsetzen. Es wird also ein galvanischer Apparat den größten Ansprüchen, welche wir an die Stromintensität stellen, genügen, wenn er bei 600 Ω Widerstand eine

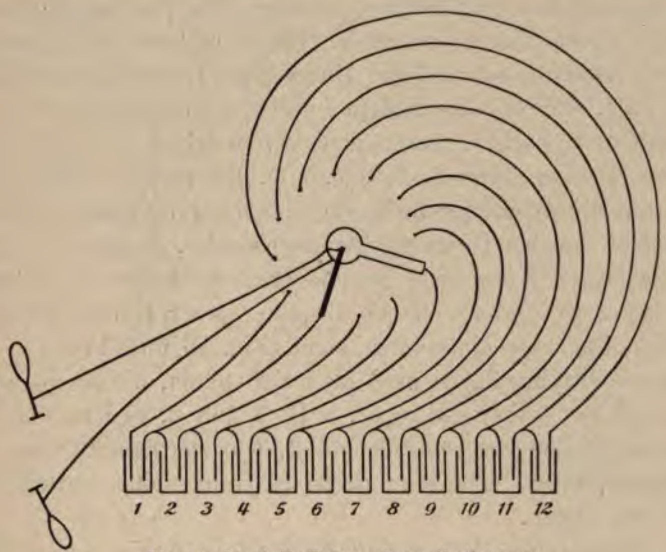


Fig. 14. Kurbelkollektor (Doppelkollektor).

Intensität von 100 Milliampere = 0,1 Ampere gibt oder, nach dem Ohmschen Gesetze berechnet, eine Spannung der Elektroden von 60 Volt erzielt:

$$J\ (0{,}1\ \text{Ampere}) = \frac{E\ (60\ \text{Volt})}{W\ (600\ \Omega)}.$$

Für die meisten in der Elektrotherapie gebräuchlichen Zwecke genügen aber schon beträchtlich kleinere Intensitäten und demnach auch kleinere Spannungen. Nur die Elektropunktur bedarf (abgesehen von der Galvanokaustik) bisweilen größerer Intensitäten.

49. Stromwähler. Wir haben oben (S. 73) gesehen, daß wir bei Verwendung von Elementen die Spannung der Elektroden beliebig erhöhen können, wenn wir viele Elemente hintereinander schalten.

Die Spannung einer Batterie wird daher am einfachsten dadurch

reguliert, daß man so viele Elemente hintereinander schaltet, daß man die gewünschte Spannung erreicht. Nehmen wir an, jedes Element unserer Batterie hätte 1 Volt Spannung, so erzielen wir bei Hintereinanderschaltung von 2 Elementen 2 Volt, von 10 Elementen 10 Volt Spannung. Nehmen wir ferner an, wir hätten einen Widerstand von 5000 Ω zu überwinden, so würden wir bei Verwendung von 10 Elementen eine Stromintensität von $\frac{10}{5000} = 0{,}002$ Ampere = 2 Milliampere, bei Verwendung von 2 Elementen eine Stromintensität von 0,4 Milliampere und bei Verwendung von 60 Elementen eine Intensität von 12 Milliampere erreichen.

Die Stromwähler (Kollektoren) ermöglichen es, ein Element nach dem anderen einzuschalten und so den Strom stufenweise zu verstärken. Ihr Prinzip beruht darauf, daß die eine Elektrode direkt von der Batterie abgeleitet wird, während die andere durch einen besonderen verstellbaren Kontakt mit der Batterie verbunden ist, welcher ihr je nach seiner Stellung die Spannung von 1, 2, 3 u. s. w. Elementen zuführt (Fig. 14). Früher wurde die Schaltung meist durch Stöpselung (Stöpselkollektoren) bewirkt, später wurden Gleitkontakte angewendet, welche jetzt meist in die zweckmäßigere Form von sogenannten Kurbelkontakten gebracht sind, so daß man durch einfache Drehung einer Kurbel nacheinander beliebig viele Elemente einschalten kann (Fig. 13 und 14).

Bei diesen Stromwählern muß man sich hüten, die Kurbel so stehen zu lassen, daß sie 2 Kontaktknöpfe, z. B. 1 und 2, gleichzeitig berührt. Infolge dieser Stellung würde Element 2, wie aus dem Schema hervorgeht, kurzgeschlossen, eine sehr große Stromintensität entwickeln und sich rasch erschöpfen.

Diese Stromwähler haben den Nachteil, daß die ersten Elemente der Batterie bei jeder Benutzung des Apparates in Tätigkeit gesetzt werden, die folgenden in aufsteigender Reihe immer seltener gebraucht werden und die letzten überhaupt nur dann eingeschaltet werden, wenn man die höchsten Spannungen anzuwenden wünscht. Daher nutzen sich die ersten Elemente der Batterie rasch ab, und darunter leidet dann die Leistungsfähigkeit der ganzen Batterie.

Diesem Uebelstande helfen die sogenannten Doppelkollektoren ab, welche es gestatten, beliebige aufeinanderfolgende Elemente der Batterie für den Gebrauch herauszugreifen.

50. Widerstände. Rheostaten. Bei Verwendung der Stromwähler kann man zwar die Spannung der Elektroden stufenweise steigern oder mindern, aber jede Stufe bedeutet immerhin einen gewissen Ruck, eine kleine Erschütterung für das Gewebe. Zur feineren Regulierung des Stromes dienen bei den besseren Batterieapparaten außer dem Strom-

wähler noch Widerstände, die man in die Strombahn allmählich aus- und einschalten kann. Bei den Apparaten, welche an die Lichtleitung angeschlossen sind, sind solche Widerstände unumgänglich notwendig.

Die Stromquellen der Lichtleitung liefern Spannungen, die über den Bedarf der Elektrotherapie hinausgehen (meist 110—220 Volt). Die Aufgabe der Anschlußapparate ist es nun, die Spannung an den Elektroden erstens auf das gewünschte Maximum von etwa 60 Volt herabzudrücken, und zweitens die Spannung von diesem Maximum bis zum Betrage = Null beliebig und allmählich regulierbar zu machen.

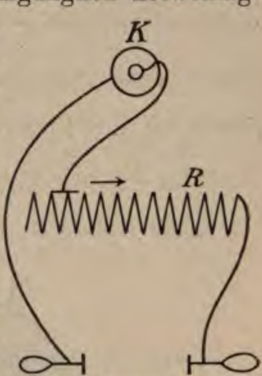


Fig. 15. Widerstand in Hauptschaltung. *K* Kraftquelle, *R* Widerstand.

Beiden Zwecken wird durch die Einschaltung von Widerständen in den Stromkreis entsprochen. Zur Herabdrückung der Spannung auf das gewünschte Maximum dienen Drahtwiderstände oder auch Glühlampen, deren Widerstand ein für allemal feststeht. — Die feineren regulierbaren Widerstände, welche bestimmt sind, die Maximalspannung beliebig bis auf Null abzuschwächen, werden aus verschiedenartigen schlechten Leitern (langen dünnen Drähten,



Fig. 16. Widerstand in Nebenschaltung. *K* Kraftquelle, *R* Widerstand.



Fig. 17. Voltregulator. *K* Kraftquelle.

Graphitstäben, Flüssigkeitssäulen) hergestellt, welche derart angeordnet sind, daß wir beliebig große Strecken dieser Widerstände der Strombahn einfügen können.

Widerstände in Nebenschaltung und in Hauptschaltung. Die Regulierung der Elektrodenspannung durch Widerstände geschieht nach zwei verschiedenen Prinzipien. Schalten wir den Widerstand zwischen die Stromquelle und den menschlichen Körper ein (Widerstand in Hauptschaltung, Fig. 15), so ist der gesamte Strom gezwungen, den Widerstand zu durchfließen. Beim Durchfließen eines Leiters verliert aber der Strom an Spannung, und zwar ist der Verlust an Spannung gleich dem

Produkte aus der Stromstärke (in Ampere ausgedrückt) in dem Widerstande des Leiters (in Ohm ausgedrückt) $P = J . W$.

Wir können also die Spannung der Elektroden durch Vorschaltwiderstände beliebig herabdrücken. Die Spannung sinkt proportional der Länge des eingeschalteten Widerstandes $\left(W = \frac{L}{Q}\right)$. Und mit der Spannung der Elektroden regulieren wir gleichzeitig die Intensität des Stromes, der den Patienten durchfließt $\left(J = \frac{E}{W}\right)$.

Eine andere Methode, die Spannung der Elektroden herabzudrücken,

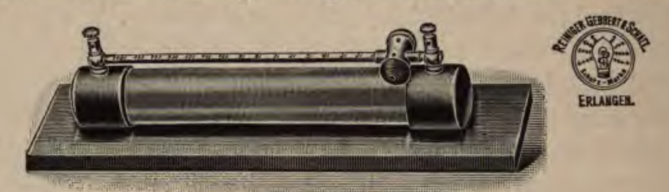


Fig. 18. Voltregulator mit Schieber.

beruht in der Verwendung von Widerständen in Nebenschaltung. Die beiden Stromzuleitungen werden, ehe sie an den menschlichen Körper herantreten, durch einen regulierbaren Widerstand miteinander leitend verbunden (Fig. 16). Die Spannung gleicht sich dann durch die Nebenschaltung zum Teil aus und zwar im Verhältnis zu den Widerständen,

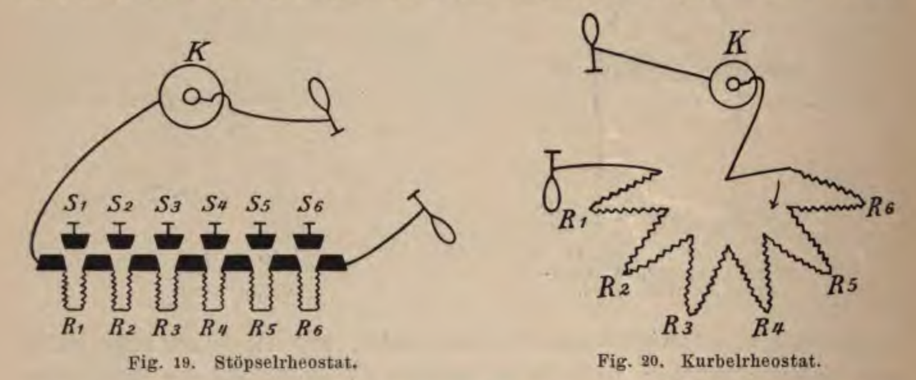


Fig. 19. Stöpselrheostat. Fig. 20. Kurbelrheostat.

welche die Nebenschaltung R einerseits und die Strombahn durch die Elektroden anderseits bieten. Sind beide Widerstände gleich, so gleicht sich die Spannung zur Hälfte auf dem Wege der Nebenschaltung, zur Hälfte auf dem Wege durch die Elektroden aus. Ist der Widerstand der Nebenschaltung doppelt so groß wie derjenige auf dem Wege durch die Elektroden, so gleichen sich durch ersteren $^1/_3$, durch letzteren $^2/_3$ der Spannung aus. Die Stromintensität, welche durch beide Wege geht, ist immer umgekehrt proportional dem Widerstande der Strecke. Wir

können also die Spannung an den Elektroden auch beliebig regulieren, indem wir die Größe des Widerstandes im Nebenschluß regulieren.

Gegenüber der Hauptschaltung hat diese Anordnung den Nachteil, daß viel Strom verbraucht wird, auch wenn nur wenig gebraucht wird. Besonders auf Batterien wirkt diese Anordnung nachteilig.

Voltregulator. Eine eigenartige Kombination bildet der sogenannte Voltregulator. Dieser ist so eingerichtet, daß der Zuleitungsdraht der einen Elektrode auf dem in Nebenschaltung befindlichen Widerstande verschieblich angebracht ist, so daß ein beliebig großer Teil des Widerstandes aus der Nebenschaltung in die Hauptschaltung übernommen werden kann (Fig. 17). Die Einrichtung gestattet eine sehr feine Regulierung, hat aber mit der Nebenschlußschaltung einen verhältnismäßig großen Stromverbrauch gemeinsam und eignet sich daher nicht für Batterieapparate.

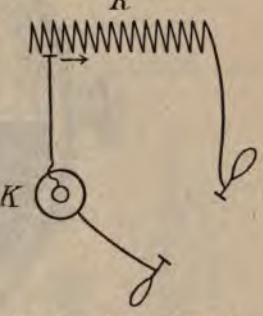


Fig. 21. Schieberrheostat.

Diese Widerstände werden in der Regel aus dünnen Metalldrähten hergestellt. Als Material dienen besonders schlecht leitende Metallegierungen (Rheotan, Nickelin, Manganin, Konstantan).

Der Draht ist entweder in einfachen Segmenten aufgewickelt, so daß ein Segment nach dem anderen eingeschaltet werden kann; diese Schaltung geschah früher meist durch Stöpsel (Stöpselrheostaten, Fig. 19). Heutzutage verwendet man an deren Stelle fast ausschließlich Kurbelrheostaten, welche viel handlicher sind (Fig. 20).

Oder der Draht wird in einer fortlaufenden Rolle aufgewickelt, über welche ein Kontakt schleift, der größere oder kleinere Strecken der Rheostaten in die Kette schaltet (Schieberrheostaten, Fig. 18 u. 21). Eine Abart des Schieberrheostaten ist der Walzenrheostat, bei welchem der Widerstand auf einen drehbaren Zylinder aufgewickelt ist, auf welchem sich bei seinen Umdrehungen ein Kontakt verschiebt.

Vor den Kurbelrheostaten haben die zuletzt genannten Rheostaten den Vorzug, daß die Einschaltung der Widerstände nicht sprungweise, sondern ganz gleichmäßig vor sich geht.

Einfach und billig sind die Graphitrheostaten, bei welchen der Widerstand aus zwei Graphitstäben besteht. Sie sind zur gröberen Stromregulierung gut zu gebrauchen.

Flüssigkeitsrheostaten bestehen im Prinzip aus einer Flüssigkeitssäule (meist dünne Chlorzinklösung, in welcher Zinkelektroden durch ein Zahngetriebe einander mehr oder weniger genähert werden können, so daß eine größere oder geringere Strecke der Flüssigkeit eingeschaltet ist. Sie arbeiten exakt, sind aber nicht sehr handlich.

51. Meßvorrichtungen. Stromwender. Durch die besprochenen Vorrichtungen läßt sich der Zweck erreichen, die Spannung an den Elektroden und die Stromintensität beliebig einzustellen. Das würde uns aber nicht viel nützen, wenn wir nicht Maße hätten, an welchen wir die Intensität und Spannung ablesen und kontrollieren könnten.

Zur Messung der **Stromintensität** dient das **Galvanometer** (Fig. 22). Es ist nach dem Prinzip konstruiert, daß eine Magnetnadel

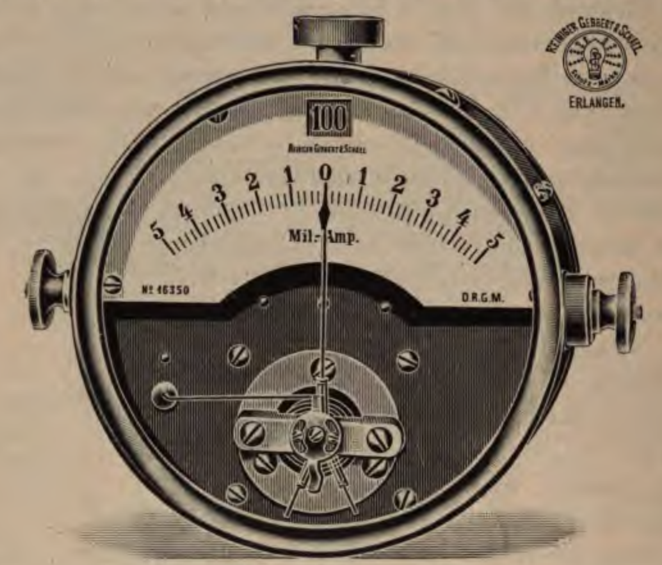


Fig. 22. Galvanometer.

von einem galvanischen Strome, der sie in der Richtung ihrer Längsachse umfließt, desto stärker abgelenkt wird, je intensiver der Strom ist. Andere Galvanometer sind nach dem Prinzip konstruiert, daß umgekehrt eine Strombahn vom Magneten desto stärker abgelenkt wird, je größer die Intensität des Stromes ist.

Die Galvanometer sind mit verschiedenartigen Vorrichtungen versehen, welche bezwecken, daß der Zeiger sich rasch, ohne zu pendeln, einstellt. Sie sind empirisch auf $^1/_{1000}$ Ampere = Milliampere geeicht. Die besseren Galvanometer sind so eingerichtet, daß man entweder den ganzen Strom oder nur den 10. oder 100. Teil mißt. Dadurch wird erreicht, daß man mit ein und derselben kleinen Skala sowohl sehr genau kleine Intensitäten als auch sehr große Intensitäten messen kann.

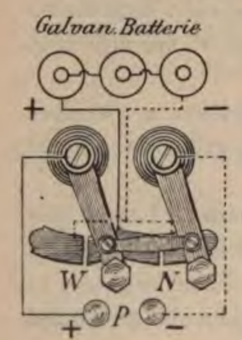


Fig. 23. Stromwender.

Von einem guten Galvanometer verlangt man große Genauigkeit (Empfindlichkeit), ferner daß der Zeiger bei jeder Aenderung der Stromintensität rasch

seine Ruhelage einnimmt. Sehr zweckmäßig ist es, wenn das Instrument so konstruiert ist, daß es in jeder Orientierung, vertikal, horizontal und in jeder Himmelsrichtung gleich gut funktioniert.

Zur Messung der Spannung dient derselbe Apparat, nur in anderer Schaltung, unter dem Namen Voltmeter. Setzt man nämlich ein Galvanometer in Nebenschaltung und gibt man dieser Nebenschaltung 1000 Ohm Widerstand, so gibt nach dem Ohmschen Gesetze (E = J . W) die Stromintensität, welche das Instrument in Tausendstelampere anzeigt, gleichzeitig die Spannung, welche an beiden Enden des Widerstandes herrscht, in Volt; so würde nach der genannten Formel eine Intensität von 10 Milliampere (0,01 Ampere) eine Spannung an den Elektroden von 10 Volt bedeuten:

$$E = J \times W$$
$$10 = 0{,}01 \times 1000.$$

Voltamperemeter nennt man ein Galvanometer, das durch eine


Fig. 24—26. Elektrodenhalter.


Fig. 27—29. Elektrodenhalter mit Unterbrecher.

einfache Schaltvorrichtung bald in Hauptschaltung als Galvanometer, bald in Nebenschaltung als Voltmeter verwendet werden kann.

Der Stromwender (Fig. 23) dient dazu, die Richtung des Stromes im Patienten umzukehren, ohne die Elektroden abnehmen zu müssen.

52. Nebenapparate. Den Elektroden wird der Strom zugeführt durch Schnüre aus gesponnenem feinem Draht, welche mit einem isolierenden Ueberzug (Gummi, Seide u. dergl.) versehen sind. Die Enden bleiben davon frei. Sie werden mit dem einen Ende in den sogenannten Polklemmen festgeschraubt, mit dem anderen Ende am Elektrodenhalter befestigt. Dieser besteht in der Regel aus einem isolierenden Holzstiel und einem Metallteil, an welchen die Elektrode angeschraubt wird (Fig. 24—30).

Notwendig sind Elektrodenhalter mit Unterbrecher (Fig. 27—29), um den Strom in situ öffnen und schließen zu können.


Fig. 30. Kurzer Elektrodenhalter nach Erb zur allgemeinen Faradisation.

Die **Elektroden** (Fig. 31—64) bestehen aus Metallteilen, welche meist die Form von Platten haben, sie sind je nach dem Zweck, den man verfolgt, nach Form und Größe sehr verschieden. Zweckmäßig ist es, wenn die Flächengröße auf den Elektroden notiert ist, damit man jederzeit bequem die

Fig. 31. Ohrenelektrode nach Winkler.

Fig. 32 u. 33. Uteruselektroden.

Fig. 34—36. Urethraelektroden (die obere mit Irrigation nach Bondet).

Fig. 37. Kehlkopfelektrode.

Fig. 38. Rektumelektrode.

Fig. 39—42.

Stromdichte berechnen kann (Normalelektroden). — Zur Verwendung als **feuchte** Elektroden sind sie mit hydrophilen Ueberzügen aus Baum-

wollstoff, Filz, Moospappe u. dergl. versehen, die vor dem Gebrauch angefeuchtet werden. Da diese Ueberzüge rasch verschmutzen, ist es zweckmäßig, sie so einzurichten, daß sie leicht ausgewechselt werden können (Fig. 65).

Die sogenannten unpolarisierbaren Elektroden (Fig. 66), welche

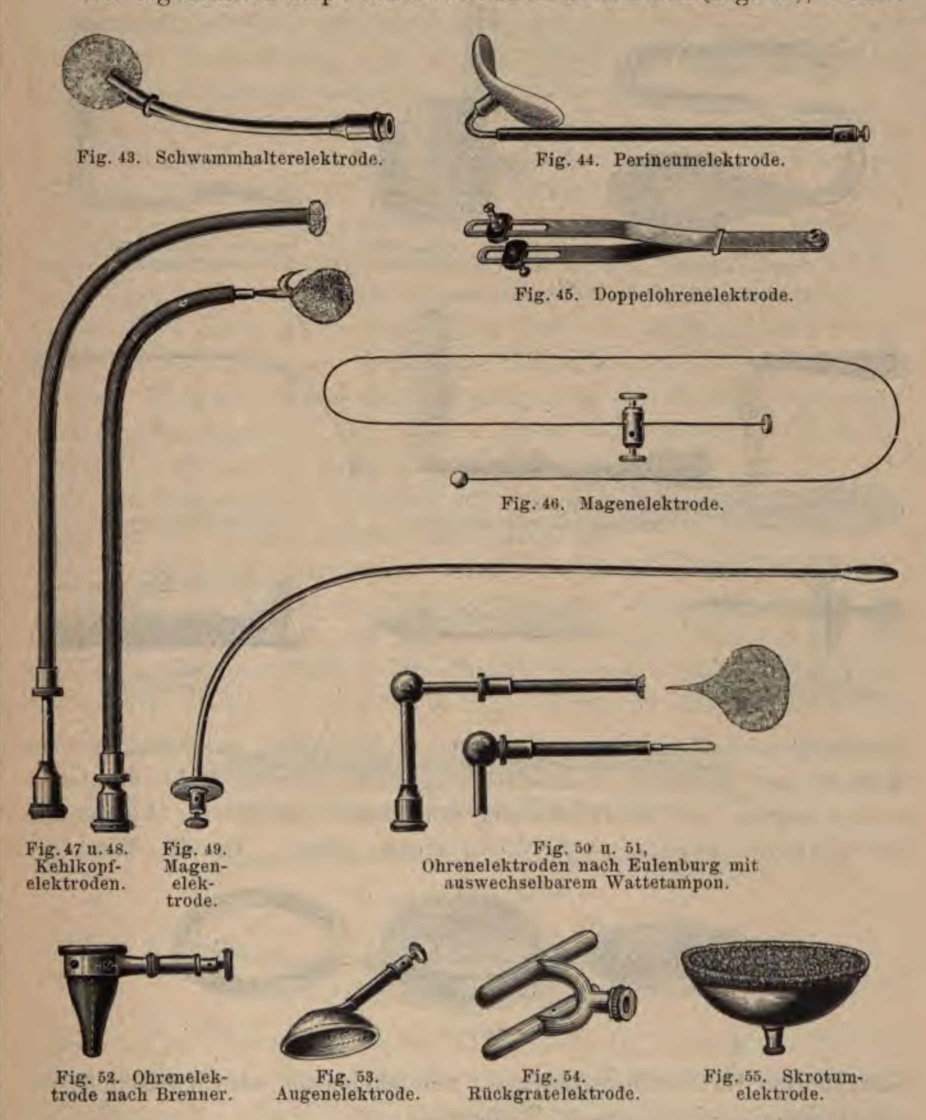


Fig. 43. Schwammhalterelektrode.

Fig. 44. Perineumelektrode.

Fig. 45. Doppelohrenelektrode.

Fig. 46. Magenelektrode.

Fig. 47 u. 48. Kehlkopfelektroden.

Fig. 49. Magenelektrode.

Fig. 50 u. 51, Ohrenelektroden nach Eulenburg mit auswechselbarem Wattetampon.

Fig. 52. Ohrenelektrode nach Brenner.

Fig. 53. Augenelektrode.

Fig. 54. Rückgratelektrode.

Fig. 55. Skrotumelektrode.

hohl und in dem metallischen Teil der Zuleitung mit Chlorzinklösung gefüllt sind, um die Polarisation zu vermeiden, sind für die Elektrotherapie vollkommen entbehrlich. Die Schwächung des Stromes durch Polarisation an den Elektroden spielt für die Elektrotherapie gar keine

Rolle. Zur Verhütung von Aetzungen sind aber die unpolarisierbaren Elektroden durchaus nicht besser geeignet, als jede gewöhnliche Elektrode, wenn sie nur eine genügende Flüssigkeitsschicht trägt.

Dagegen läßt sich Verätzung vermeiden durch Verwendung von



Fig. 56. Magenelektrode. Fig. 57. Nackenelektrode nach Eulenburg. Fig. 58. Ohrenelektrode nach Richter.

Fig. 59. Nackenelektrode nach Stein. Fig. 60. Augenelektrode nach Schreiber. Fig. 61. Kehlkopfelektrode.

Fig. 62. Ohrenelektrode nach Klein. Fig. 63. Rektumelektrode. Fig. 64. Peniselektrode.

durchspülbaren Hohlelektroden, welche an der Anode mit Alkali, an der Kathode mit verdünnter Salzsäurelösung gefüllt werden. Als Hohlelektroden werden auch die Elektroden konstruiert, welche zur Ausführung der Kataphorese (s. o. S. 35 ff.) dienen sollen. Da der Wert der



Fig. 65.

Kataphorese für die Elektrotherapie zum mindesten sehr zweifelhaft ist, gilt dasselbe auch von diesen Elektroden.

Zur elektrolytischen Aetzung dienen Nadeln aus edlem oder unedlem Metall mit dazu gehörigen Nadelhaltern und Unterbrechern oder auch stumpfe Gebilde, die in Körperhöhlen eingeführt werden (Fig. 67—73).

Um den Strom in Bäder zu leiten, dienen sehr große plattenförmige

Metallelektroden, welche zum Schutze gegen direkte Berührung mit einem Holzroste versehen sind. Außerdem gibt es noch unzählige Modelle von Elektroden für Spezialzwecke, von denen wir in den nebenstehenden Figuren einige Beispiele bringen.

53. Der faradische Apparat. Der faradische Apparat ist ein Transformator, welcher mit Gleichstrom gespeist wird und einen ganz bestimmten Wechselstrom, eben den faradischen Strom, liefert. Diese Umformung beruht auf dem Prinzip der Induktion.

Die wesentlichsten Bestandteile des faradischen Apparates sind: 1. ein Unterbrecher, der Wagner-Neefsche Hammer, welcher den gelieferten Gleichstrom automatisch zerhackt; 2. eine primäre Spule, durch welche dieser zerhackte Strom hindurchfließt; 3. eine sekundäre Spule, welche über die primäre ganz oder teilweise übergeschoben werden kann; diese Spule liefert einen induzierten Wechselstrom, wenn der zerhackte Strom durch die primäre Spule fließt. Sie steht mit der Stromquelle in keiner leitenden Verbindung (Fig. 74).

Der Wagner-Neefsche Hammer (Fig. 75) besteht aus einer federnden Stahllamelle H, welche über einem Elektromagneten (M) derart angebracht ist, daß sie den Strom schließt, wenn der Magnet außer Tätigkeit ist. Nun wird aber der Magnet gerade durch diesen Strom in Tätigkeit gesetzt und zieht die Stahllamelle an, sobald der Strom geschlossen ist. Dadurch wird der Kontakt der Stahllamelle mit der Stromquelle unterbrochen, der Magnet gerät außer Tätigkeit, läßt die Stahllamelle los, sie schnellt zurück, stellt den Kontakt wieder her, der Strom fließt wieder, der Magnet wird wieder



Fig. 66. Unpolarisierbare Elektrode



Fig. 67. Elektrode für die weibliche Urethralblase.

Fig. 68. Uteruselektrode.

Fig. 69. Uteruselektrode nach Richter.

erregt u. s. w. Dadurch entstehen rhythmische Oeffnungen und Schließungen des Stromes, deren Frequenz man dadurch regeln kann, daß man die Stahllamelle im Ruhezustand durch die Schraubenlinie mehr oder minder dicht an den Magneten heranbringt. Bei großem Abstand zwischen Lamelle und Magnet lassen sich die Unterbrechungen auf 60 und weniger in der Minute herabdrücken.

Geht nun dieser zerhackte Strom durch die primäre Spule, so entsteht

in dieser Selbstinduktion. Bei jeder Stromschließung induziert jede Drahtwindung der Spule in ihren Nachbarwindungen einen entgegen-



Fig. 70—73.

gesetzten Strom, welcher den primären Strom schwächt, bei jeder Oeffnung einen gleichgerichteten Induktionsstrom.

Das Resultat dieser Vorgänge, der primäre faradische Strom, ist also ein intermittierender Gleichstrom.

Er wird in der Weise zu den Elektroden geleitet, daß die Leitungs-

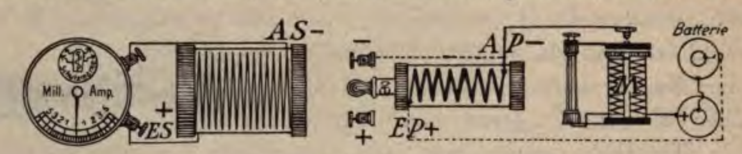


Fig. 74. Schema des faradischen Apparates.

schnüre an beide Enden der primären Spirale angeschlossen werden. Auf die Weise werden nur die induzierten Oeffnungsströme durch den Körper geleitet. Denn wenn die Kette geschlossen ist, geht der Strom nicht durch den Körper der Patienten, sondern allein durch die besser leitenden metallischen Teile (Fig. 74, AP −, EP +).

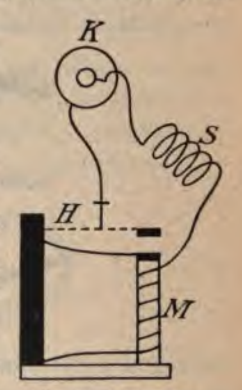


Fig. 75. Wagner-Neefscher Hammer.

Die primäre Spule besteht aus 100—800 Windungen verhältnismäßig dicken, isolierten Drahtes von geringem Widerstande (1—5 Ω). Die elektromotorische Kraft des primären Stromes schwankt zwischen 5 und 50 Volt. Sie hängt von der Spannung der Stromquelle und der Zahl der Windungen der Spule ab. Sie wird verstärkt durch einen Eisenkern, welcher im Innern der Spule steckt. Durch diesen Eisenkern geschieht die Regulierung der Stromstärke. Je weiter er aus der Spule herausgezogen wird, desto schwächer wird der Strom.

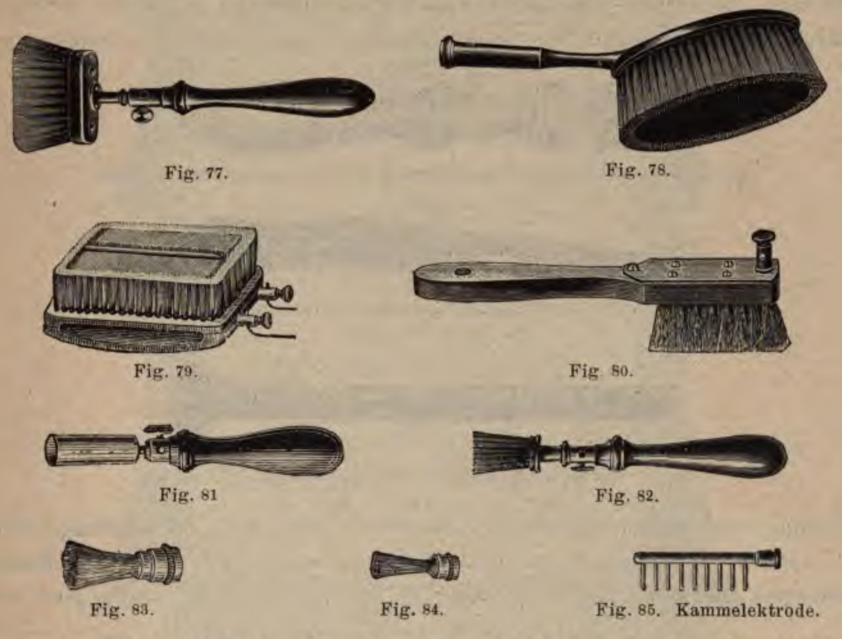
Die sekundäre Spule trägt etwa 3000—10000 Drahtwindungen. Da die elektromotorische Kraft induzierter Ströme mit der Zahl der Drahtwindungen wächst, ist diese viel höher in der sekundären als in

der primären Spule: 20—300 Volt. Der Widerstand der langen dünnen (0,1 mm) Drahtrolle ist aber sehr groß (100—900 Ω), infolgedessen ist


Fig. 76. Hautklopfelektrode.

die Stromintensität trotz der großen elektromotorischen Kraft nicht sehr groß $\left(J = \frac{E}{W}\right)$.

Neben der Induktion, welche von der primären Spirale aus hervor-


Fig. 77. Fig. 78. Fig. 79. Fig. 80. Fig. 81 Fig. 82. Fig. 83. Fig. 84. Fig. 85. Kammelektrode.

gerufen wird, entsteht in der sekundären Spirale aber ebenfalls Selbstinduktion. Diese Selbstinduktion schwächt die Schließungsströme, verstärkt die Oeffnungsströme.

Das Resultat, der sekundäre faradische Strom, ist also ein


Fig. 86. Rektumelektrode.

Wechselstrom mit Vorherrschen der einen Richtung (Fig. 6 I). In diesem Sinne spricht man beim sekundären faradischen Strom auch von

Anode und Kathode, indem man nur die intensiveren Oeffnungsströme berücksichtigt. Der Strom wird von beiden Enden der sekundären Spule abgenommen (Fig. 74, AS —, ES +).

Die Spannung des sekundären faradischen Stromes läßt sich erstens



Fig. 87 u. 88. Vaginalelektroden.

dadurch regulieren, daß man die Spannung des induzierenden primären Stromes durch Aus- und Einschieben des Eisenkernes reguliert, zweitens dadurch, daß die sekundäre Spule entweder ganz über die primäre ge-



Fig. 89. Erbsche Elektrode zur Prüfung der Faradoziation, Sensibilität.



Fig. 90. Prostata-Massageelektrode nach Scharff.



Fig. 91. Vaginale Elektrode (bipolar).

schoben, oder auch weit von ihr entfernt werden kann (Schlittenapparat).

Da es bis zur Zeit nicht möglich gewesen ist, ein brauchbares absolutes Meßverfahren für faradische Ströme zu finden, muß man sich



Fig. 92. Handelektrode.

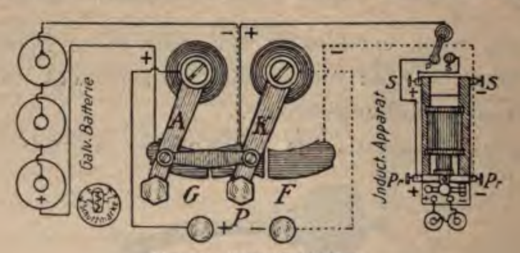


Fig. 93. Stromwechsler.

damit begnügen, den Abstand des Eisenkernes und der sekundären Spule von der primären als Maßstab zu benutzen. In dieser Ungenauigkeit liegt ein großer Nachteil für die therapeutische Dosierung des faradischen Stromes.

Die Leitungsschnüre sind dieselben wie für den galvanischen Strom, ebenso die Elektrodenhalter und Elektroden.

Doch kommen für den faradischen Strom, da er nicht ätzt, auch rein metallische Elektroden zur Verwendung (Fig. 76—92), welche meist



Fig. 94.

die Form von Pinseln und Bürsten haben. Sie dienen zur Erzielung intensiver Reize.

Die Ein- und Ausschaltung des Stromes, der den faradischen Apparat speist, geschah früher meist durch Stöpsel, jetzt besser durch Kurbelschaltung.

54. Stromwechsler, Galvanofaradisation. Bisweilen werden

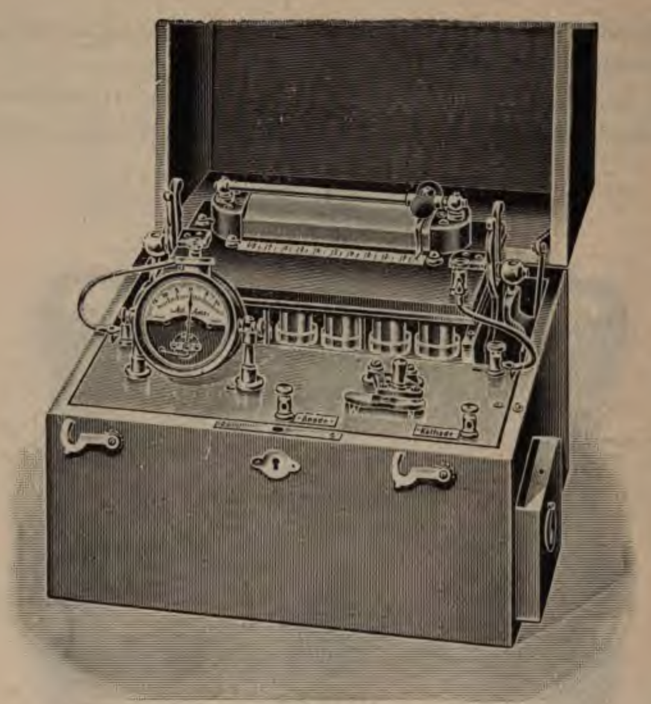


Fig. 95.

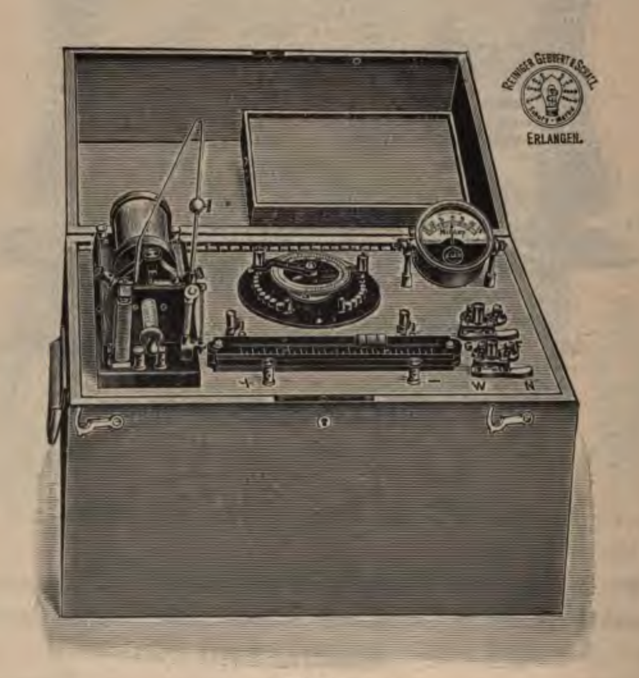


Fig. 96.

galvanischer und faradischer Strom gleichzeitig angewendet. Der Stromwechsle erlaubt mit einem Griff entweder den faradischen oder den galvanischen Strom oder beide gleichzeitig den Elektroden zuzuführen (Fig. 93; Galvanofaradisation).

Die Apparate für Gleichstrom (Galvanisation, Elektrolyse, Kaustik)



Fig. 97.

und faradischen Strom erfreuen sich mit Recht bei weitem der größten Benutzung und Verbreitung bei den praktischen Aerzten.

Sie werden entweder möglichst kompendiös als transportable Apparate oder aber umfangreich und schwer als stationäre Apparate hergestellt. Es ist klar, daß bei den stationären Apparaten weitergehende Ansprüche berücksichtigt werden können als bei den transportablen. Dafür haben letztere den Vorzug, überall am Krankenbette verwendbar

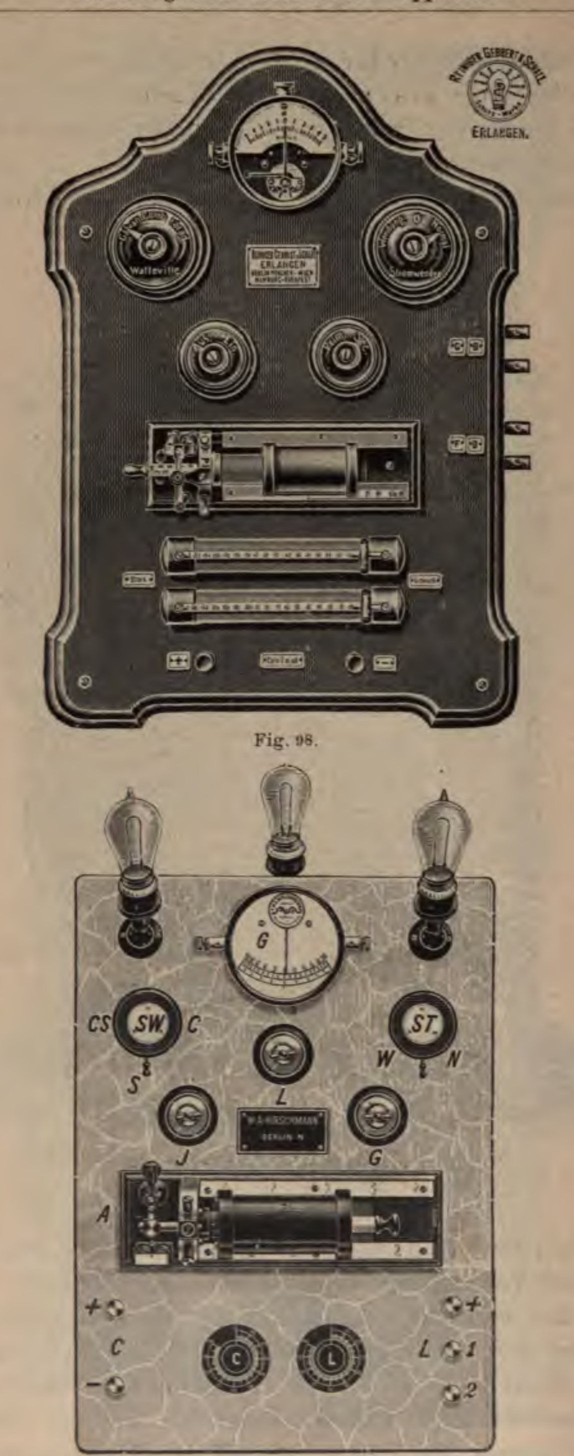


Fig. 98.

Fig. 99.

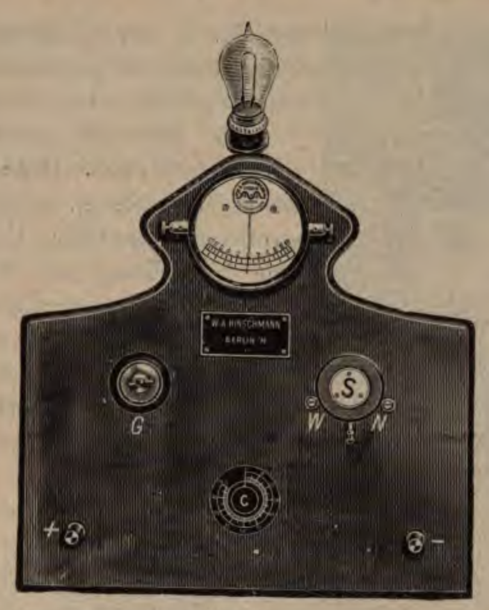


Fig. 100.

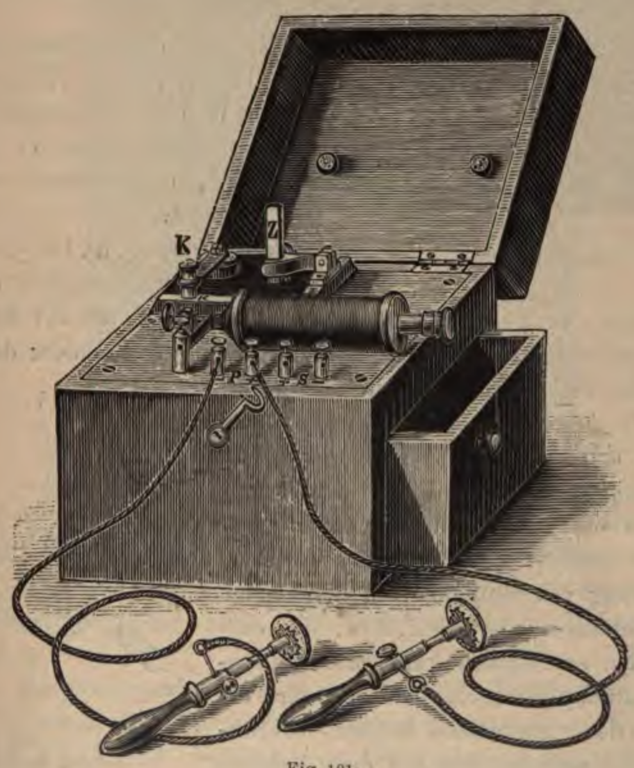
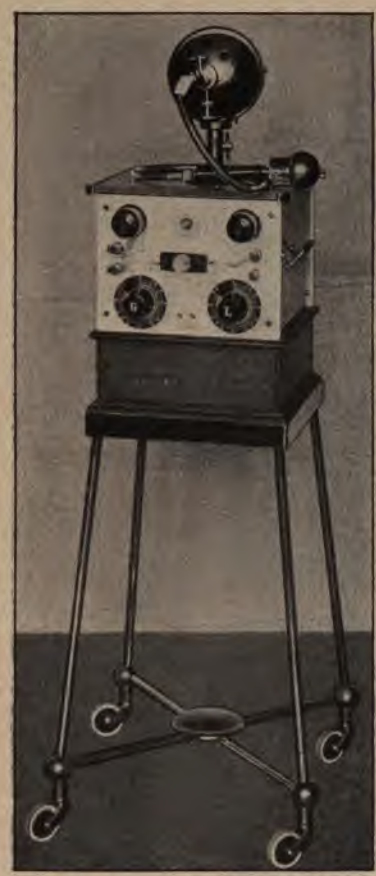


Fig. 101.


Fig. 102. Apparat mit Doppelkollektor. (W. A. Hirschmann, Berlin.)

zu sein. In den beifolgenden Figuren sind einige Typen der galvanofaradischen Apparate abgebildet (Fig. 94—102).

55. **Die Apparate für sinusoidalen Strom.** Der sinusoidale Strom ist derjenige Strom, welchen die Wechselstromdynamomaschine liefert. Steht also eine Lichtleitung mit Wechselstrom zur Verfügung, so kann dieser unmittelbar therapeutisch verwendet werden, nachdem er, entweder gleich dem galvanischen Strom durch Widerstände, oder Induktoren auf eine geeignete Spannung gebracht ist.

Steht aber Gleichstrom zur Verfügung, so wird dieser dazu benutzt, eine kleine Wechselstromdynamomaschine anzutreiben, welche uns den sinusoidalen Strom liefert (Gleichstrom-Wechselstromtransformator).

Das Prinzip dieses Sinusoidalstromapparates beruht auf der Tatsache, daß ein Magnet in einer Drahtspule Induktionsströme erzeugt, wenn er derselben genähert wird, und wenn er sich von derselben entfernt.

Denken wir uns (Fig. 103) drei Spulen in gleichen Abständen radiär um einen Kreis gelagert, in welchem ein Magnet NS rotiert. Je ein Ende jeder Spule sei mit den beiden anderen Spulen leitend verbunden, das andere Ende zu den Elektroden abgeleitet.

Bei der Annäherung des Nordpoles an jede Spule entsteht allmählich anschwellend eine Spannung, diese schwillt bei Entfernung des Poles wieder ab. Nun nähert sich der Südpol; es entsteht allmählich anschwellend eine Spannung von umgekehrten Vorzeichen (+, —), schwillt wieder ab u. s. w. So entsteht in allen drei Spulen hintereinander derjenige Spannungswechsel, welcher für die Elektroden des sinusoidalen Stromes charakteristisch ist, und da, wie aus dem Schema



Fig. 103. Schema des sinusoidalen Apparates.

ohne weiteres ersichtlich ist, die drei Spulen immer um je ein Drittel der ganzen Stromphase untereinander differieren, können wir gleichzeitig drei Sinusströme zwischen allen drei Elektroden erzeugen (Fig. 104).

Zur Regulierung wird der Strom, ehe er die Elektroden erreicht, durch je einen Rheostaten geschickt. Oder er wird vorher zu dem-

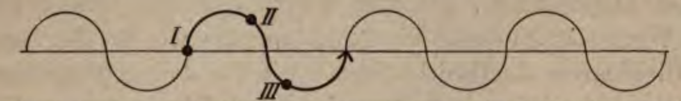


Fig. 104. Schema des Verlaufes der Spannungen an den Elektroden I, II, III bei Dreiphasenstrom.

selben Zwecke noch einmal umgeformt, indem er durch eine primäre Spule mit zahlreichen Wicklungen geschickt wird, welche in einer sekundären Spule mit weniger Wicklungen einen weniger hochgespannten Strom induziert, dessen Spannung sich außerdem, wie beim faradischen

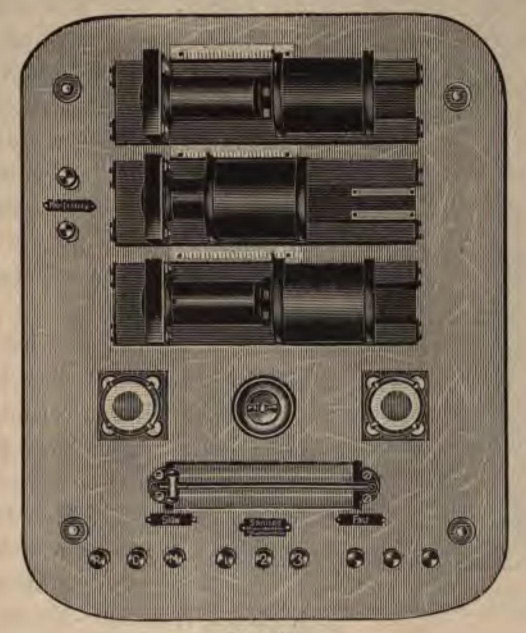


Fig. 105.

Strom (s. o. Fig. 95), regulieren läßt, dadurch, daß man die sekundäre Spule mehr oder weniger weit über die primäre schiebt.

Man kann den Strom entweder von allen drei Elektroden abnehmen (Dreiphasenstrom) oder auch von beliebigen zwei Elektroden (Einphasenstrom).

Beim Einphasenstrom erlaubt eine besondere Vorrichtung, der Kommutator, jedesmal die positiven Phasen beider Spulen der **einen** Elektrode, der Anode, zuzuführen, die negativen Phasen beider Spulen der anderen

Elektrode, der Kathode. So entsteht der sinusoidale oder pulsierende Gleichstrom.

Der Kommutator gestattet auch den Sinusstrom mit dem Galvanometer zu messen, was bei Wechselstrom nicht möglich ist.

Die sinusoidalen Ströme werden mit denselben Leitungsschnüren und Elektroden abgenommen, wie der galvanische und faradische Strom. Für den Wechselstrom gelten die Gesichtspunkte wie für den faradischen, für den Gleichstrom die Gesichtspunkte wie für den galvanischen Strom. Die Figuren 105—107 zeigen verschiedene Modelle von Sinusoidalstromapparaten.

56. Apparate für Kondensatorentladungen. Der Hauptbestandteil ist der Kondensator. Dieser besteht aus einer Anzahl Stanniolblätter, welche voneinander isoliert fest aufeinander liegen, und von welchen die ungeraden Nummern mit der Anode, die geraden mit der Kathode verbunden sind. Eine solche Vorrichtung vermag eine beträchliche Menge Elektrizität aufzunehmen. Die Kapazität unseres Kondensators beträgt $1\frac{1}{2}$ Mikrofarad, doch erlaubt eine besondere Schaltung auch nur $\frac{2}{3}$ (1 Mikrofarad) oder $\frac{1}{3}$ ($\frac{1}{2}$ Mikrofarad) desselben in Anspruch zu nehmen.

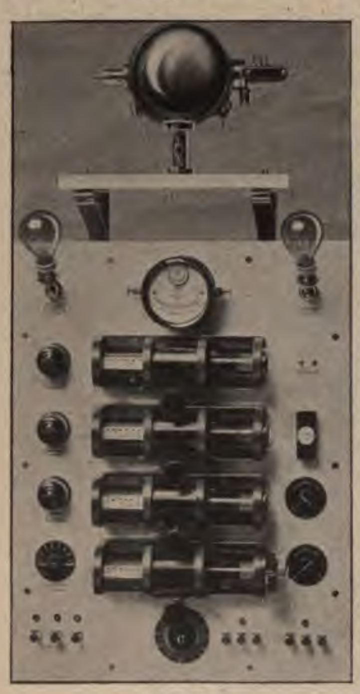


Fig. 105.
(W. A. Hirschmann, Berlin.)

Der Kondensator wird mit dem galvanischen Strom auf eine beliebige Spannung, welche wir am Voltmeter (s. o. S. 83) ablesen können, geladen. Eine Wippe erlaubt uns jedesmal eine Ladung (oder auch $\frac{2}{3}$ oder $\frac{1}{3}$), also $1\frac{1}{2}$ Mikrofarad $\times$ x Volt durch den Körper zu schicken.

Ein automatischer Entlader nach dem Prinzip des Wagner-Neefschen Hammers gestattet, solche Entladungen in rascher Aufeinanderfolge zu wiederholen.

Die Elektroden sind dieselben wie die für den galvanischen und faradischen Strom.

57. Apparate für Franklinschen Strom. Influenzmaschinen. Es gibt eine ganze Anzahl sogenannter Influenzmaschinen, d. h. Apparate, welche nach dem Prinzip der Influenz hochgespannte statische Elektrizität liefern.

Als Typus sei die sogenannte Wimshurst-Maschine kurz beschrieben.



Fig. 107.

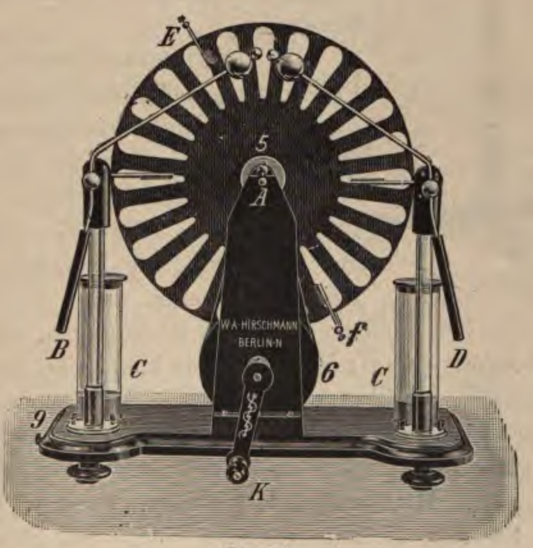


Fig. 108.

Die Wimshurst-Maschine besteht aus zwei gleichgroßen Hartgummi- oder Glasscheiben, welche um eine gemeinsame Achse, dicht aneinander, in entgegengesetzter Richtung in Rotation versetzt werden

können. Als treibende Kraft dient die menschliche Hand, besser ein Motor.

Beide Scheiben tragen an der nach außen gekehrten Seite eine Reihe (18 und mehr) Stanniolsegmente.

Auf jeder Scheibe schleifen Metallpinsel über die Stanniolsegmente, welche bestimmt sind, diese elektrisch zu erregen (Fig. 109). Die beiden Scheiben werden außerdem an diametralen Stellen von zwei mit kammartiger Spitze versehenen Metallbögen umfaßt, welche die erregte Elektrizität von den Stanniolbelegen absaugen und der Innenbelegung je einer Leydener Flasche zuführen.



Fig. 109.

Die Einzelheiten der Wirkung dieser Maschine sind physikalisch noch nicht ganz klar. Der Erfolg ist jedenfalls der, daß die eine Leydener Flasche eine starke positive, die andere eine starke negative Ladung erhält, wenn der Apparat in Gang gesetzt wird.

Diese Spannungen werden den Patienten durch starke Kabel und besondere Elektroden zugeführt (Fig. 109—114).

58. Apparate für Hochfrequenzströme (Apparate für d'Arsonval-(Tesla)-Ströme.

Die Hochfrequenzstromapparate haben im Prinzip große Aehnlichkeit mit den faradischen Apparaten. Ein Gleichstrom wird zerhackt und durch einen Induktor in einen Wechselstrom verwandelt. Nur nimmt dieser Vorgang vergleichsweise riesenhafte Dimensionen an, und der gewonnene Wechselstrom wird noch weiter verarbeitet.

Als Unterbrecher dienen entweder Vorrichtungen, welche nach dem Prinzip des Wagner-Neefschen Hammers konstruiert sind (Platinunterbrecher, einfache Quecksilberunterbrecher) oder folgende Vorrichtungen:

Der Quecksilberstrahlunterbrecher beruht im Prinzip darauf, daß aus einer Zentrifugalpumpe zwei oder mehr rotierende Quecksilberstrahlen gegen Metallsegmente getrieben werden, welche mit der Zuleitung des Stromes direkt verbunden sind. Der Strom ist jedesmal geschlossen, wenn die Segmente und die Quecksilberstrahlen miteinander leitend verbunden sind, geöffnet, wenn kein Segment von den Strahlen getroffen wird.

Der Wehnelt-Unterbrecher beruht auf einem anderen Prinzip.

Eine große Kathode aus Blei und eine sehr kleine spitze Anode aus Platin tauchen in ein Gefäß, das mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist. In der Zuleitung zu der Platinelektrode befindet sich eine Induktionsspule. Sendet man einen starken Strom durch dies System, so entsteht an der Platinelektrode, wo der Strom sehr dicht ist, infolge von Erhitzung Wasserdampf; dadurch wird der Strom unterbrochen. Die Induktionsspule erzeugt in diesem Augenblick einen Oeffnungsstrom, welcher durch hohe Spannung die Wasserdampfhülle durchschlägt, und den Strom wieder herstellt. Sofort beginnt das Spiel aufs neue.

Fig. 110.

Der Wehnelt-Unterbrecher liefert bis zu 3000 Unterbrechungen in der Sekunde.

Der Induktor der Hochfrequenzapparate ist sehr groß, ein sogenannter Funkeninduktor (Ruhmkorff) (Fig. 116). Insbesondere ist die sekundäre Spule sehr groß. Sie enthält Tausende von Metern Draht in Tausenden von Wicklungen. Der Erfolg ist eine enorm hohe Spannung des induzierten Stromes, aber auch ein enormer Widerstand der Lei-

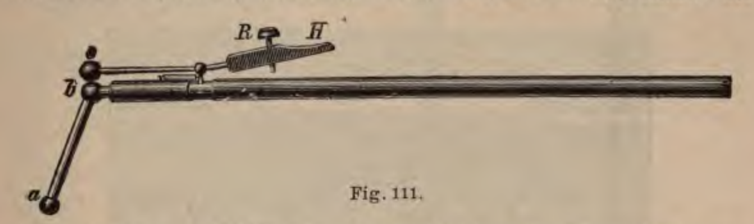


Fig. 111.

tung. Es entsteht z. B. bei den gebräuchlichen Funkeninduktoren, wenn die sekundäre Spirale 15000 m Draht enthält, an den Elektroden eine Spannung von 156000 Volt und diese vermag unter den gegebenen Verhältnissen einen Luftraum von 20 cm als Funke zu durchschlagen. Die Funkenstrecke gibt ein Maß für die Spannung ab. Wir haben Induktoren mit 100 cm und mehr Funkenstrecke. Die Frequenz der Polwechsel des Induktionsstromes ist ebenfalls ziemlich hoch, bis zu 30000 in der Sekunde. Dies ist der Strom, welcher zur Speisung der Röntgenröhre benutzt wird.


Fig. 112—114. Hochspannungselektroden.

Die weiteren Vorrichtungen haben den Zweck, sowohl die Frequenz als auch die Spannung dieses Stromes noch zu erhöhen (Fig. 115).

Die Pole des Induktors werden nach den inneren Belegungen je einer Leydener Flasche abgeleitet, deren Entladungskugeln einander in regulierbaren Abständen gegenüberstehen. Diese werden einander so weit genähert, daß ein Entladungsfunke entsteht. Eine solche Entladung besteht in einer sehr schnell oszillierenden Bewegung der Elektrizität und

wirkt in diesem Sinne auf die Leydener Flaschen zurück. Dadurch werden auf den äußeren Belegungen der Leydener Flaschen enorm hohe Span-

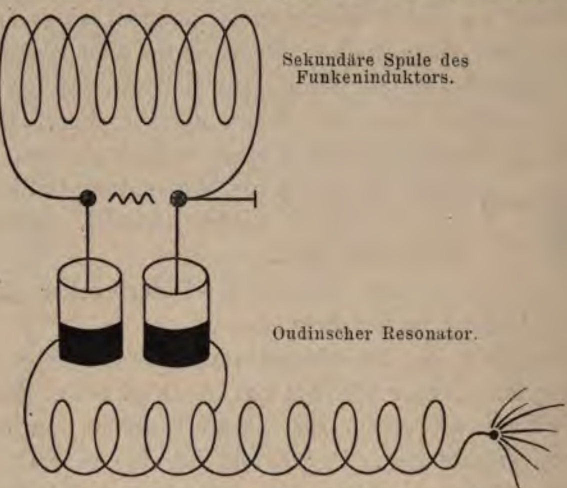


Fig. 115. Schema der Hochfrequenzapparate.

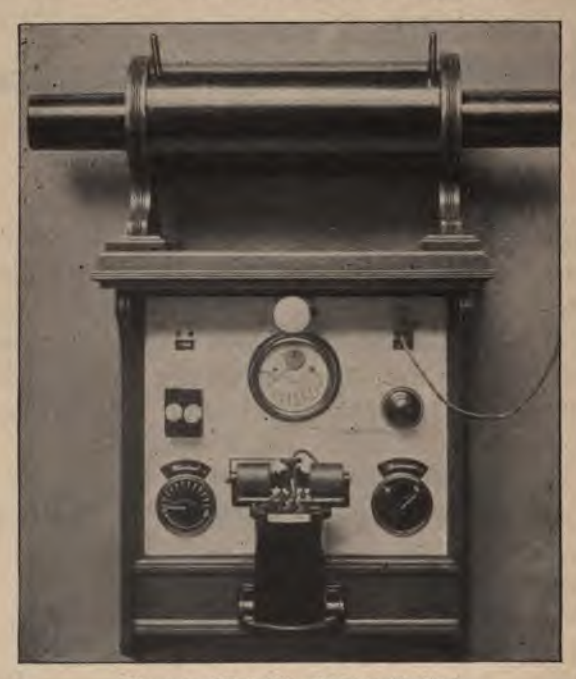


Fig. 116. (W. A. Hirschmann, Berlin.)

nungen mit enorm hohem Polwechsel (Hunderttausende in der Sekunde) induziert.

Diese Spannungen werden durch Kabel nach dem **Oudinschen Resonator** abgeleitet (Fig. 117).

Dieser besteht aus einer dicken Kupferspirale, welche auf einer drehbaren Trommel aufgerollt ist. Das untere Ende der Spirale steht mit der einen Stromzuführung in Kontakt, während die andere Stromzuführung auf der Spirale verschieblich schleift. Wird nun der d'Arsonval-Strom durch den unteren Teil dieser Spirale geleitet, so entsteht in dem oberen Teil durch den Vorgang der elektrischen Resonanz eine außerordentlich hohe oszillierende Spannung von mehreren Hunderttausenden

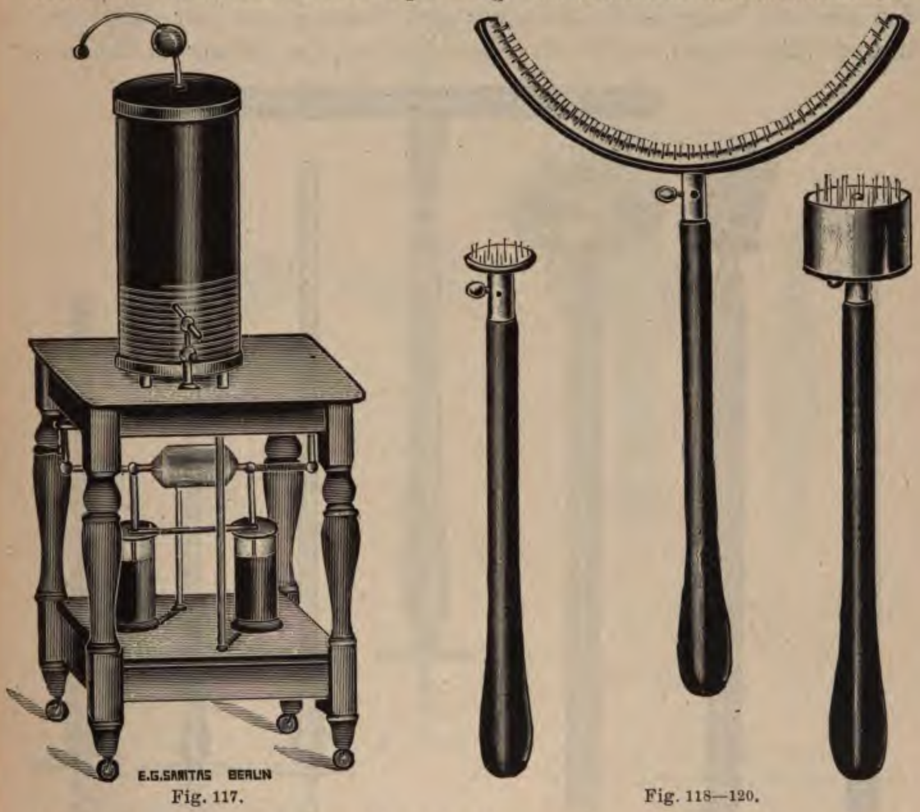


Fig. 117. Fig. 118—120.

bis Millionen von Volt, mit einer Frequenz von Hunderttausenden in der Sekunde.

Die Spannung wird desto größer, je besser die beiden Teile der Kupferspirale gegeneinander „abgestimmt" sind. Die Abstimmung geschieht durch Verschiebung des Gleitkontaktes auf der Trommel.

Einen noch besseren Erfolg erzielt man, wenn man zwei Oudinsche Resonatoren benutzt, welche so geschaltet sind, daß ihre Spannungen alternieren.

Leitungsschnüre. Als Leitungsschnüre dienen besondere dicke Kabel aus gesponnenem Draht, welche mit dickem Gummischlauch überzogen sind. Trotzdem genügt diese Isolierung nicht gegenüber der enormen

Spannung. Man bekommt Funken, wenn man sie berührt. Zwar hat dies nicht viel zu bedeuten, da die hohe Frequenz die hohe Spannung ganz ungefährlich macht. Immerhin ist es unangenehm, da es den Patienten leicht erschreckt. Man muß vermeiden, ihn mit dem Kabel zu berühren.

Elektroden (Fig. 118—136). Man bedient sich entweder solcher Elektroden, welche nach dem Prinzip der trockenen und feuchten Elektroden für niedriggespannte Elektroden gebaut sind, mit der Abweichung, daß sie sehr lange Elektrodenhalter und insbesondere sehr lange isolierende Stiele haben, um den Arzt genügend von der Leitung zu isolieren.



Fig. 121—127.

Für die Hochfrequenz eigentümlich sind die sogenannten Kondensatorelektroden (Fig. 128—136); in einem Glasgefäß befindet sich die eigentliche Elektrode aus Metall oder Graphit. Wird der Patient mit dem Glas berührt, so bildet er gewissermaßen die äußere Belegung einer Leydener Flasche, während die Metallelektrode die innere Belegung bildet. Die Spannungen gleichen sich unter lebhafter Funkenbildung aus.

Eine ähnliche Anordnung im großen bildet das Kondensatorbett (s. Fig. 137 u. S. 119). Zur Erzielung von Induktionswirkungen wird der sogenannte Käfig verwendet, eine sehr große Kupferspirale, durch welche der Strom geleitet wird und in welcher der Patient steht (Fig. 138).

B. Die Methoden der Elektrotherapie.

59. Allgemeine Gesichtspunkte. Zu einer vernünftigen methodischen Anwendung der Elektrotherapie gehört in erster Linie eine sachliche und unzweideutige Beantwortung der Fragen, was man mit

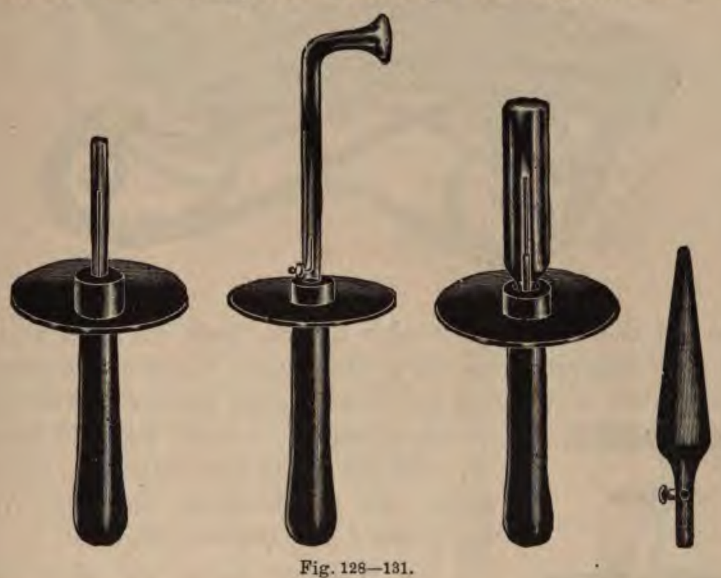


Fig. 128—131.

der Elektrotherapie erzielen will und was man mit derselben erreichen kann.

Gegen diesen Grundsatz wird, so selbstverständlich er auch erscheint, sehr viel gesündigt, und hier liegt heutzutage noch die allergrößte Schwäche der Elektrotherapie.

Man hat zu lange — nicht nur in den Kreisen von Laien — sich ein nebelhaftes, phantastisches Bild vom Wesen der Elektrizität gemacht; man hat allzulange der Elektrotherapie Wunder zugemutet und geglaubt; man ist allzulange aus eigener Schuld durch solche unwissenschaftliche Illusionen getäuscht und enttäuscht worden, um gegenwärtig der Elektrotherapie allgemein mit unbefangener Sachlichkeit gegenüberzustehen.



Fig. 132—136.

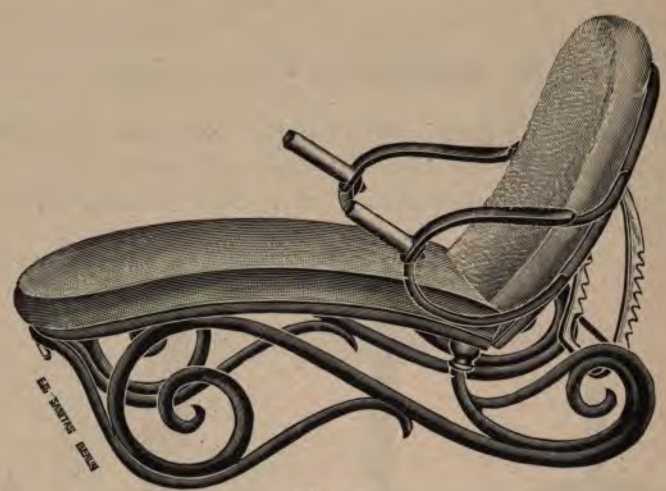


Fig. 137.

So hat es seine geschichtlichen Gründe, wenn wir auch heute noch in der Elektrotherapie zwei starke Strömungen vorfinden, von denen die eine noch unter dem Einfluß der Illusion steht und der Elektrizität Heilerfolge zuschreibt, welchen sie nicht gewachsen ist, während die andere unter dem vollen Eindrucke der Enttäuschung ihr jede Wirkung, wenigstens jede objektive, abspricht.



Fig. 138.

Die Wahrheit finden wir nicht zwischen diesen beiden Richtungen, sondern ganz anderswo. Und es führt ein anderer Weg dahin als der, den der Glaube und der Unglaube an die Methode weist.

Die Elektrotherapie muß behandelt werden wie jede andere wissenschaftlich gepflegte Heilmethode. Mit anderen Worten: Die Elektrotherapie hat, wie jede Heilmethode, klare Indikationen zur Voraussetzung, und dazu gehört eine richtige Vorstellung von der Krankheit, eine klare Diagnose auf der einen, eine klare Vorstellung von dem Heilmittel auf der anderen Seite.

Nun kommen jeder Behandlungsmethode und nicht zum mindesten unserer alten Pharmakotherapie in hohem Maße suggestive Wirkungen zu. Wie hoch mag wohl der Prozentsatz der Fälle sein, wo nicht die Tropfen aus der Apotheke helfen, sondern der Glaube der Patienten an sie

und an den Arzt? Aber so wenig, wie man von ernsthaft denkenden Menschen glauben wird, daß sie die Pharmakopöe und die Apotheken mit der denkbar größten Sorgfalt ausstatten, daß sie dicke Lehrbücher der Arzneimittellehre schreiben und auch lesen, nur um schließlich mit den Arzneimitteln Suggestivtherapie zu treiben, ebensowenig kann man ein ähnlich widersinniges Verhalten von ernsthaften Elektrotherapeuten voraussetzen.

Nicht zur Erzielung von suggestiven Wirkungen beschäftigen wir uns eingehend mit allen Fragen der Elektrologie und schaffen wir uns die Apparate an, welche mit allen Feinheiten der Technik ausgestattet sind. Solche Suggestivwirkungen erzielen, wie gesagt, alle anderen Heilmethoden auch, und zwar mindestens ebenso häufig und meist viel einfacher. Wir wollen uns vielmehr von den reellen Wirkungen des Stromes auf den Patienten ein klares Bild machen und diese reellen Wirkungen möglichst ausnützen.

Wir werden daher von vornherein nur solche Krankheitsfälle in elektrische Behandlung nehmen, bei denen entweder die Erfahrung oder die Ueberlegung lehrt, daß wir auch wirklich einen heilsamen Einfluß der Behandlung auf den Krankheitsherd erwarten können. Und wir werden die Behandlungsmethode in jedem einzelnen Falle so einrichten, daß wir uns einen möglichst ausgiebigen und günstigen, direkten oder indirekten Einfluß der Ströme auf den Krankheitsherd versprechen können.

Es ist ganz unmöglich, über das Wie? allgemein gültige Regeln zu geben. Der Elektrotherapeut wird vielmehr in jedem einzelnen Falle im Verlaufe der Kur sich selbst korrigieren und tastend den richtigen Weg an der Hand gründlicher Beobachtung der Patienten suchen müssen. Die Hauptsache ist, daß er das Wesen der Krankheit und das Wesen des Stromes, den er anwendet, klar überschaut und weiß, was er will. Sonst werden ihm auch die besten Lehren nichts helfen.

Die folgenden Ausführungen können also nur den Wert einer allgemeinen Orientierung beanspruchen.

Die Methodik der niedrig gespannten Ströme. Der galvanische und der faradische Strom werden sehr häufig mit- und nebeneinander angewendet. Die Methodik ihrer Anwendung hat viel Gemeinsames, und beide Ströme sind häufig aus demselben Apparatkasten zu entnehmen. Neuerdings findet man bisweilen auch noch den sinusoidalen Strom und die Kondensatorentladungen mit ihnen vereint, von denen dasselbe gilt. Alle diese Stromarten seien daher gemeinsam besprochen.

60. Die Dosierung der Ströme. Eine der nächstliegenden

Fragen ist die: Nach welchen Gesichtspunkten dosieren wir unsere Ströme?

Zu dieser Frage ist zunächst folgendes zu bemerken: Die Strommengen, welche wir dem Körper zuführen, entsprechen der Intensität und der Zeit der Stromdauer ($M = J \times Z$). Nun kommt es aber im allgemeinen für die therapeutischen Wirkungen des Stromes weniger darauf an, welche Strommenge wir dem Körper im ganzen zuführen, als vielmehr darauf, mit welcher Dichte der Strom durch seine Bahnen fließt. Und zwar verstehen wir unter der Stromdichte die Intensität des Stromes (in Milliampere) dividiert durch den Querschnitt (in Quadratzentimeter ausgedrückt) der Strombahn $\left(D = \frac{J}{Q}\right)$. Messen können wir nur die Dichte an der Eintrittsstelle des Stromes, an den Elektroden.

Die absolute obere Grenze der zulässigen Stromdichte an den Elektroden ist im allgemeinen dadurch gegeben, daß die Reizung der sensiblen Nervenenden in der Haut bei steigender Stromdichte lästig oder gar unerträglich wird. Diese Grenze ist individuell sehr verschieden, doch dürfte die höchste zulässige Dichte auch an wenig sensiblen Partien den Wert von $\frac{25\ (\text{M.-A.})}{25\ (\text{Qcm})}$ nicht übersteigen. An dem Handrücken eines Arbeiters fand ich, daß Stromdichten von $\frac{30}{25}$ schmerzhaft, $\frac{50}{25}$ selbst für kurze Dauer sehr schmerzhaft empfunden wurden.

Die Dichte kann desto größer sein, je kleiner die Elektrode. Denn die Empfindlichkeit der Haut ist desto größer, je größer c. p. die Anzahl der Nervenenden ist, welche mit einer gegebenen Stromdichte gereizt werden.

Eine absolute obere Grenze der zulässigen Stromdauer kennen wir nicht. Bei sehr lang dauernder Anwendung dichter galvanischer Ströme tritt allerdings die Gefahr der Verätzung der Haut ein, doch läßt diese sich umgehen (s. o. S. 30). Unter diesen Vorsichtsmaßregeln ist man in geeigneten Fällen im stande, sehr große Elektrizitätsmengen einzuverleiben, ohne störende Erscheinungen hervorzurufen. Eine zeitliche Maximaldose des Stromes gibt es zur Zeit noch nicht. Es ist also Zweckmäßigkeitsgründen überlassen, wie lange man die Prozedur ausdehnen will.

Ebensowenig gibt es bestimmte bindende Vorschriften über die Minimaldosis der Ströme in Bezug auf Dichte und Zeit. Viele Autoren berichten günstige Erfolge von unfühlbar schwachen Strömen bei sehr kurzer Stromdauer, bei der Verwendung von Bruchteilen eines Milliampere und bei einem Querschnitt der Elektroden von einigen Quadratzentimetern, also etwa bei einer Dichte von $\frac{0{,}2}{20}$ und einer Stromdauer

von etwa einer Minute. Es liegt gar kein Grund vor, derartige Berichte von vornherein als unwahrscheinlich anzuzweifeln. Es ist ganz unlogisch, nur von solchen Strömen einen Heileffekt zu erwarten, deren Wirkung man unmittelbar sieht oder fühlt. Warum soll die elektrische Beeinflussung der Ernährungsverhältnisse im Gewebe durchaus sichtbar oder fühlbar sein? Tritt doch die Wirkung der meisten Heilmittel, insbesondere der Arzneimittel, ganz allmählich und unfühlbar ein.

Die kleinen Dosen sind daher überall da wohl berechtigt, wo die Erfahrung oder die Beobachtung am vorliegenden Falle lehrt, daß sie, wenn auch allmählich, eine günstige Wirkung auf den Heilungsprozeß ausüben.

Man hat also in der Dosierung einen sehr weiten Spielraum, und es wird im einzelnen Falle nicht immer leicht sein, zu entscheiden, welche Dosen man am zweckmäßigsten wählt. Es gibt viele Elektrotherapeuten, welche mit Vorliebe mit starken, andere, die mit Vorliebe mit schwachen Dosen arbeiten, und von beiden Richtungen wird Gutes berichtet. Es ist also auch hier ganz wie bei der Pharmakotherapie.

Von einem alten Praktiker, C. W. Müller, der mehr zu der Anwendung schwacher Dosen hinneigt, wird als durchschnittliche Dichte einer sehr großen Zahl galvanotherapeutischer Maßnahmen diejenige von 1 Milliampere pro 18 qcm Elektrodenfläche angegeben. Und diese Stromdichte wird vielfach als Norm einer mittleren Stromdichte betrachtet. Bei Organen, welche dem Strome leicht zugänglich unter der Haut liegen, kommt man c. p. mit kleineren Dosen aus als bei Organen, welche in der Tiefe liegen.

Im allgemeinen empfiehlt es sich, bei frischen, bei reizbaren und besonders bei entzündlichen Affektionen geringe Dosen, bei alten, chronischen torpiden Affektionen aber große Dosen zu verwenden. Ganz geringe Dichten müssen am Schädel verwendet werden, besonders bei Anwendung des galvanischen Stromes, da sonst bedrohliche Allgemeinerscheinungen, Ohnmachten, Schwindel u. s. w. eintreten.

Was die zeitliche Dosierung anbetrifft, so ist zu sagen, daß eine Vergrößerung der Stromdauer im allgemeinen milder wirkt als eine Vergrößerung der Stromdichte und daß man hierdurch ein gutes Mittel in der Hand hat, die Behandlung dem Falle anzupassen.

Wie oft sollen die Sitzungen stattfinden? Auch hierüber gibt es keine bindenden Vorschriften. Es ist allgemeine Gewohnheit, die wohl aus zwingenden Gründen der Praxis entsprungen ist, höchstens täglich einmal zu elektrisieren. Es liegt aber durchaus kein Grund vor, in geeigneten Fällen nicht zu versuchen, durch mehrmalige tägliche Sitzungen einen besseren Erfolg zu erzielen.

Im allgemeinen gilt die Regel, daß man bei akuten Fällen, ins-

besondere bei frischen Lähmungen und akuten Neuralgien, täglich elektrisiert, bei chronischen Fällen jeden 2. Tag oder noch seltener.

Häufig gibt uns das Verhalten der Erkrankung selbst einen Hinweis für die richtige Periode der Sitzungen. So kehren manche Symptome, die der Strom zum Verschwinden gebracht hatte, z. B. Schmerzen, Jucken, Tremor, Spasmen, nach einiger Zeit immer wieder. Macht man diese Erfahrung, so wird man versuchen, die Sitzung jedesmal vor der Wiederkehr des betreffenden Symptomes abzuhalten. Häufig werden dann die Intervalle immer länger, und man kann die Sitzungen immer seltener abhalten, bis zur Heilung.

61. Wahl der Stromart. Es wird in vielen Fällen zweifelhaft sein, welche Stromart man wählen soll, da die verschiedenen Stromarten vielfach gemeinsame Indikationen haben. Man wird häufig sowohl mit der einen als auch mit der anderen zum Ziele kommen.

Häufig aber genügt gerade eine bestimmte Stromart oder die gleichzeitige oder abwechselnde Anwendung verschiedener Stromarten den gegebenen Indikationen.

Zur Erzielung sehr kräftiger, wohl dosierbarer allgemeiner oder lokalisierter Hautreize ist der faradische Strom, und zwar mit trockenen Pinsel- oder Bürstenelektroden appliziert, unbedingt vorzuziehen. Zur Erzielung kräftiger Muskelkontraktionen, besonders in der Tiefe des Körpers, z. B. in der Darmmuskulatur, ist der sinusoidale Strom vorzuziehen. Steht dieser nicht zur Verfügung, so verdient der faradische Strom hier ebenfalls den Vorzug. Dagegen ist der galvanische Strom unbedingt da vorzuziehen, wo man eine möglichst milde „umstimmende" Wirkung im Innern des Körpers erzielen und Erschütterungen vermeiden will. Desgleichen ist der galvanische Strom überall da indiziert, wo man chemische Wirkungen auf die Haut oder das Körperinnere erzielen will. Bei Paresen muß man sich manchmal die Stromart erst suchen, auf welche die paretischen Muskeln noch reagieren.

62. Bedeutung der Polwirkungen. Für die gleichgerichteten Ströme kommt die differente Wirkung der beiden Pole in Betracht. Will man z. B. Zuckungen auslösen, so wird man am besten die Kathode als Reizelektrode benutzen (s. o. S. 47).

Will man elektrochemische Wirkungen auf die Haut ausüben, so muß man sich darüber klar sein, daß die Kationen, also H⊕, die Metallionen und die Alkaloidionen nur von der Anode aus, die Säureionen und ⊖HO nur von der Kathode aus wirksam sind.

Man hat auch, anschließend an die Lehre von dem Elektrotonus angenommen, daß die Folgen der Galvanisation unter der Anode beruhigend, reizmildernd, unter der Kathode erregend wirken.

Ich glaube nicht, daß diese Auffassung als allgemeine Regel gelten

kann. Jedenfalls ist ihre Begründung durch die Lehre vom Elektrotonus sehr unglücklich. Denn wir wissen, daß nach Aufhören des Stromes sowohl im Gebiete des Katelektrotonus als auch im Gebiete des Anelektrotonus erhöhte Erregbarkeit zurückbleibt. Wir begnügen uns am besten mit der Vorstellung, daß der Strom gebesserte Ernährungsverhältnisse in loco morbi hinterlassen kann, welche die restitutio ad integrum beschleunigen. Die sehr häufig gemachte Beobachtung, daß der galvanische Strom sowohl krankhaft erhöhte Erregbarkeit vermindern, als auch krankhaft verminderte Erregbarkeit erhöhen kann, erscheint unter diesem Gesichtspunkte durchaus verständlich.

63. Die gebräuchlichen Methoden der Elektrisierung.

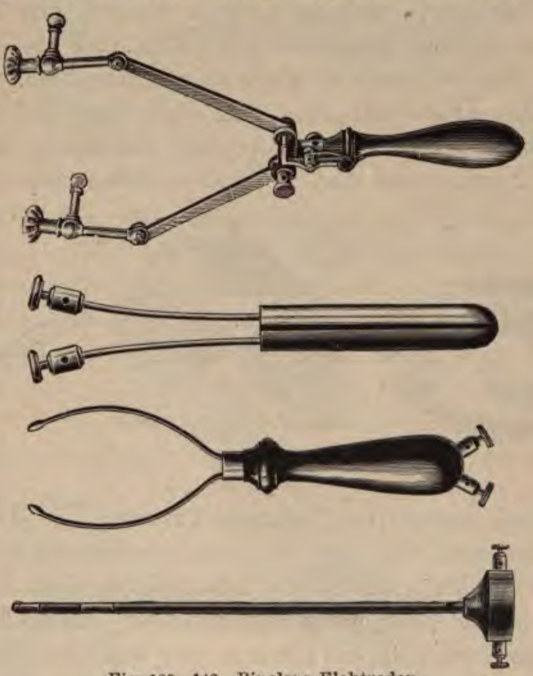


Fig. 139—142. Bipolare Elektroden.

Bei jeder elektrotherapeutischen Sitzung muß man sich zunächst ein übersichtliches Operationsfeld schaffen. Der Patient muß sich so weit entkleiden, daß man die in Betracht kommenden Körperteile gut übersehen kann, und so plaziert werden, daß sie gut beleuchtet sind. Er muß bequem sitzen oder liegen, eventuell auch stehen, so daß die Applikation ihn nicht unnötig ermüdet und jedenfalls im Operationsgebiete die Muskeln nicht angespannt sind. Ferner muß der Patient so untergebracht werden, daß der Operateur auch seinen Apparat gut übersehen und handhaben kann. Dieser selbst muß vollkommen vorbereitet sein, so daß die Stromgebung mit den nötigen Handgriffen sofort beginnen kann.

Auf keinen Fall aber dürfen die Elektroden schon, ehe sie an den Patienten gebracht werden, Spannung haben, da sonst ein sehr unangenehmer Shock hervorgerufen werden kann. Zur Ergänzung des Apparates gehört eine Uhr, an der man womöglich die Sekunden, jedenfalls bequem die Minuten übersehen kann, ohne erst nach ihr greifen zu müssen. Denn der Operateur braucht seine Hände sehr notwendig zu anderen Zwecken.

Unsere elektromedizinischen Apparate sind heutzutage derart ausgestattet, daß sie sich sehr bequem und sicher handhaben lassen. Sorge machen aber in dieser Beziehung den Elektrotherapeuten auch heute noch die Elektroden. Es sind in der Regel zwei an Stielen befestigte Elektroden vorhanden. Der Elektrotherapeut kann aber unmöglich gleichzeitig beide Elektroden ruhig und sicher fixieren und seinen Apparat handhaben, Widerstände aus- und einschalten, die Meßinstrumente ablesen u. s. w. Ein Assistent ist nicht immer zur Hand.

Für manche Fälle kann man, um eine Hand frei zu bekommen, bipolare Doppelelektroden (Fig. 139—142) anwenden, die an einem Stiele sitzen. Ferner kann man in anderen Fällen eine oder auch beide



Fig. 143—145.

Elektroden durch Riemen am Patienten fixieren (Fig. 143—145). Nicht selten wird man aber wohl oder übel sich damit helfen müssen, daß man eine Elektrode vom Patienten fixieren läßt, während man selbst die andere handhabt. Man gibt dann meist dem Patienten eine große „indifferente“ Elektrode in die Hand, während der Arzt eine kleinere „differente“ nimmt.

64. Die gebräuchlichen Methoden der Galvanisation. Der galvanische Strom wird konstant oder mit rhythmischen Unterbrechungen oder an- und abschwellend (schwellender Strom), er wird labil oder stabil angewendet, d. h. die Elektroden behalten ihren Platz entweder bei, oder sie werden auf der Haut hin und her bewegt (Rollenelektroden, Fig. 146 und 147). Schließlich wird der galvanische Strom entweder zur lokalen oder zur allgemeinen Behandlung verwendet (allgemeine Galvanisierung).

Man benutzt dabei entweder eine große indifferente und eine kleine differente Elektrode, oder man benutzt zwei gleiche kleine Elektroden, deren Stromdichte ungefähr gleich ist. Der Gebrauch zweier

großer Elektroden, welche auch bei großer Intensität nur eine geringe Dichte des Stromes entwickeln und so die Einführung großer Strommengen gestatten, war bisher wenig üblich. An ihre Stelle treten die hydroelektrischen Bäder, das monopolare und bipolare Bad und das Vierzellenbad (Fig. 149), welche, im Grunde genommen, nichts anderes vorstellen als sehr große feuchte Elektroden. Neuerdings hat jedoch an deren Stelle auch der „Elektrodentisch" (Fig. 148) Eingang gefunden.

Es werden zu diesen Zwecken ausschließlich feuchte Elektroden ver-



Fig. 146.

wendet, welche meist mit Brunnenwasser und zwar am besten mit warmem befeuchtet werden. Die Verwendung physiologischer Kochsalzlösung zur Befeuchtung der Elektroden hat für die Praxis gar keinen Wert und kompliziert nur unnötig das Verfahren.

Die direkte Anwendung metallischer Elektroden ist beim galvanischen Strome absolut kontraindiziert, wenn man nicht Aetzungen erzielen will. Dies gilt ganz besonders von der mißbräuchlichen Einführung von metallischen Elektroden in den



Fig. 147.

Mastdarm, den Magen, die Blase u. s. w., die schwere Verätzungen erzeugen.

Die für den galvanischen Strom typische Methode ist die lokale konstante, stabile Anwendung. Sie hat den Zweck unter möglichst geringer Reizung das durchströmte Gewebe zu beeinflussen. Man benutzt dabei entweder eine indifferente Elektrode, die man fern von der erkrankten Stelle am Körper des Patienten fixiert, und eine differente kleinere Elektrode, die man nahe an den Krankheitsherd bringt, oder man faßt den Krankheitsherd zwischen zwei differente Elektroden. Unbedingt

notwendig ist, daß die Elektroden mit gleichmäßig leichtem Druck während der Sitzung fixiert bleiben, weil sonst unerwünschte Stromschwankungen entstehen.

Nachdem die Elektroden placiert sind, sieht man auf die Uhr und bringt dann ganz allmählich den Strom auf die gewünschte Intensität (Einschleichen) und erhält den Strom auf dieser Intensität, bis die Zeit, die man für die Behandlung angesetzt hat, abgelaufen ist. Dann vermindert man wieder die Intensität ganz allmählich bis auf 0 (Aus-



Fig. 148. Elektrodentisch nach H. Winternitz.

schleichen) und nimmt dann erst die Elektroden ab. Das ist der Typus einer milden galvanischen Sitzung.

Die labile konstante Galvanisierung wird meist in der Weise ausgeführt, daß man eine indifferente Elektrode fixiert, und mit der differenten über das erkrankte Gebiet, nehmen wir z. B. an einen rheumatischen Arm, sanft hinstreicht, nachdem man den Strom eingeschlichen hat. Hierbei bedient man sich gerne sogenannter Rollenelektroden, welche das Hingleiten über die Haut erleichtern. Im übrigen ist zu beachten, was für die stabile konstante Galvanisation gilt.

Die allgemeine Galvanisation ist eine labile konstante Gavanisation,

bei welcher man die ganze Körperoberfläche behandelt. Sie dient zur Behandlung von Allgemeinerkrankungen (Neurosen, Anämie u. dergl.).

Für die intermittierende stabile Galvanisation ist der charakteristische Fall gegeben, wenn man von motorischen Nerven aus Muskelzuckungen erzielen will. Es wird eine indifferente Elektrode verwendet, die andere Elektrode wird mit Unterbrecher versehen an den motorischen Punkt des Nerven oder des Muskels gebracht; man gibt Spannung, während man den Unterbrecher in rhythmische Tätigkeit setzt, und



Fig. 149. Vierzellenbad nach Schnée.

steigert sie, bis man die erste Zuckung erhält. Nun sucht man zunächst mit der Reizelektrode die Umgebung ab, ob man wirklich am reizbarsten Punkt sich befindet. Hat man diesen unzweifelhaft festgestellt, so bleibt die Reizelektrode fixiert und man setzt nun die rhythmischen Stromunterbrechungen so lange fort, wie die Sitzung dauern soll. Ausschleichen ist in diesem Falle unnötig.

Statt der Stromunterbrechungen kann man auch rhythmishe Stromwendungen, Voltasche Alternativen anwenden.

Die intermittierende labile Galvanisation wird ähnlich ausgeführt, nur geht man mit der Reizelektrode über das ganze Behandlungs-

gebiet, z. B. eine Muskelgruppe, weg, indem man es mit der Elektrode rhythmisch beklopft.

Galvanische Wasserbäder (hydrogalvanische Bäder) werden entweder in der Weise verabreicht, daß beide Elektroden in das Wasser am Kopf- und Fußende der Wanne tauchen (bipolares Bad), in welcher der Patient liegt. Der Strom geht dann größtenteils durch das Wasser und man bedarf sehr hoher Intensitäten, um merkliches Stromschleifen durch den Patienten zu bekommen. Oder die eine Elektrode taucht ins Wasser, die andere wird dem Patienten in die Hände gegeben (monopolares Bad). Dann geht allerdings der ganze Strom durch den Körper des Patienten. Er hat aber eine verhältnismäßig ganz enorme Dichte in den Händen und eine ganz minimale im Bade.

Eine besondere Badform ist das sogenannte Zellenbad. Das Zweizellenbad ist recht umständlich. Die Badewanne wird durch eine inpermeable Scheidewand, welche sich dicht um den Körper des Patienten schließt, in zwei Räume geteilt, deren jeder eine Elektrode aufnimmt. Einfacher, wenn auch nicht ganz demselben Zweck entsprechend, ist es, wenn man die Extremitäten, z. B. beide Arme oder beide Beine oder auch alle vier Extremitäten in je einen Kübel mit Wasser stecken läßt, welchem man die Elektrode zuführt. Auf diese Weise läßt sich leicht ein Vierzellenbad in der Praxis improvisieren (Fig. 149).

Eine besondere Stellung nehmen die elektrolytischen Methoden der Galvanisierung ein. Wir unterscheiden die perkutane Elektrolyse, welche den Zweck verfolgt, differente Elektrolyte in die Haut einzuführen, und die subkutane Elektrolyse oder Elektropunktur, bei welcher eine oder beide Elektroden in Nadelform unter die Haut eingestochen werden, mit dem Zweck, dort Aetzeffekte zu erzielen.

Für die perkutane Elektrolyse kann man das allgemein gebräuchliche Instrumentarium einschließlich der Elektroden verwenden. Am besten benutzt man eine indifferente, gewöhnliche feuchte Elektrode und eine differente blanke Elektrode. Diese letztere kann unmittelbar auf die Haut oder auf die Schleimhaut gebracht werden, wenn man ausschließlich Aetzung erzielen will (S. 28). Oder man bringt zwischen die Elektroden und die Haut einen vielfach zusammengelegten Bausch von Filtrierpapier oder Watte, welcher mit der Flüssigkeit durchtränkt ist, mit der man die Haut imprägnieren will. Dann schleicht man den Strom auf eine gut erträgliche Dichte ein, läßt ihn einige Zeit konstant wirken und schleicht wieder aus.

Man hüte sich jedoch, die Wirksamkeit dieses Verfahrens zu unterschätzen. Bei Anwendung von Säuren und Schwermetallsalzen von der Anode aus tritt schon bei mäßiger Stromdichte nach wenigen Minuten Aetzung ein, ebenso bei der Anwendung von Laugen von der Kathode

aus. Bei der Anwendung von Alkaloiden (z. B. Kokain) bedarf es längerer Zeit, um die spezifische Wirkung zu erzielen. Doch bedenke man, daß sich bei längerer Applikation sekundäre Produkte bilden, die ebenfalls ätzend wirken (s. o. S. 30); man muß deshalb den Bausch von Zeit zu Zeit erneuern. Auf alle Fälle ist ein sehr vorsichtiges Verfahren anzuraten, so lange man nicht die nötige praktische Erfahrung mit der Methode hat.

Die subkutane Elektrolyse, die Elektropunktur, wird entweder mit einer indifferenten und einer differenten oder mit zwei differenten Elektroden ausgeführt.

Die differente Elektrode wird in diejenige Hautstelle oder dasjenige Organ eingestochen, welches verätzt werden soll, dann wird langsam ansteigend Strom gegeben, der zu einer beträchtlichen Höhe steigen kann (bis 100 Milliampere). Man beobachtet die elektrolytische Verätzung, schleicht den Strom wieder aus, wenn diese den gewünschten Grad erreicht hat, um nun eventuell gleich eine andere Stelle in Behandlung zu nehmen. Vorsicht erheischt das Verfahren am Kopfe, weil Stromschleifen leicht Anlaß zu bedrohlicher Reizung der nervösen Zentralorgane geben. Man darf also hier keine sehr großen Stromstärken anwenden.

Eine besondere Bedeutung hat die Elektropunktur in der Chirurgie und der Gynäkologie erlangt. In Betreff der Einzelheiten muß auf die Fachschriften verwiesen werden.

65. Methoden der Faradisierung. Der faradische Strom wird kontinuierlich oder mit rhythmischen Unterbrechungen, eventuell auch an- und abschwellend, stabil und labil, lokal und allgemein angewandt, ganz wie das für den galvanischen Strom gilt. Auch in Bezug auf die Einzelheiten der Methodik gilt im allgemeinen das, was soeben für den galvanischen Strom gesagt worden. Außer Betracht kommen für den faradischen Strom die elektrolytischen Wirkungen. Es muß aber bei der Anwendung des faradischen Stromes ein prinzipieller Unterschied gemacht werden, je nachdem wir ihn als Reiz für die Haut oder als Reiz für innere Organe verwenden wollen.

Soll die Wirkung des faradischen Stromes vorwiegend auf die Haut gelenkt werden, so geben wir ihm eine große Dichte in der Haut. Wir verwenden dazu trockene, metallische Elektroden. Da dem faradischen Strom elektrolytische Wirkungen nicht wesentlich zukommen, können wir das tun, ohne irgendwie Verätzungen der Haut, wie sie der galvanische Strom veranlassen würde, zu befürchten.

Und zwar benutzt man meist Pinsel und Bürsten aus dünnen Metallfäden, so daß der Strom außerordentlich dicht zusammengedrängt die Haut passiert. Zur Verbindung der Faradisation und Massage dienen metallische Kugelelektroden (Fig. 150).

Will man auf innere Organe wirken, so benutzt man feuchte Elektroden, ganz wie bei Anwendung des galvanischen Stromes. Es wird dadurch eine möglichst breite leitende Bahn, also eine möglichst geringe Dichte in der Haut geschaffen.

Für Hautreize bevorzugt man im allgemeinen den sekundären, für Muskelreize den primären faradischen Strom. Infolge des geringen Widerstandes des menschlichen Körpers gegen Wechselströme (s. o. S. 61) sind diese besonders geeignet zur Verwendung in hydroelektrischen Bädern. Auch wenn man beide Elektroden ins Wasser taucht, gehen genügende Stromfäden durch den Patienten, um die gewünschten Wirkungen zu erzielen. Bei Beginn aller faradischen Sitzungen achte man darauf, daß der Apparat zunächst auf schwächste Spannung eingestellt ist.



Fig. 150. Massierelektroden zur Faradisierung.

66. Die Methoden für den sinusoidalen Strom, welcher erst eine kurze Geschichte in der Elektrotherapie hat, sind durchaus nach dem Vorbilde des galvanischen und faradischen Stromes geschaffen. Es ist dabei zu beachten, daß der sinusoidale Wechselstrom keine ätzende Wirkung hat, und daher nach den Gesichtspunkten des faradischen Stromes behandelt werden kann. Der sinusoidale Gleichstrom (pulsierender Gleichstrom) hat Aetzwirkung und muß daher nach den Gesichtspunkten des galvanischen Stromes behandelt werden.

Von Vorteil ist bisweilen die Eigenschaft des Dreiphasenstromes, daß er drei Elektroden zur Verfügung stellt. Man kann z. B. eine sehr wirksame Anordnung zur Anregung der Darmperistaltik treffen, wenn man die eine Elektrode im Mastdarm fixiert, während man mit den beiden anderen labil und intermittierend die Bauchmuskulatur zu rhythmischen Kontraktionen bringt.

Ganz besonders geeignet ist dieser Strom auch für hydroelektrische Bäder. Man bringt alle drei Elektroden ins Wasser und kann so sehr bedeutende, wohl regulierbare Einwirkungen auf den Patienten ausüben. Auch bei Anwendung der sinusoidalen Ströme achte man darauf, daß bei Beginn der Sitzung die Elektroden schwach gespannt sind.

67. Die Kondensatorentladungen werden als Serienentladungen zu therapeutischen Zwecken genau wie der galvanische oder faradische Strom gehandhabt, mit dem Unterschiede, daß man die Voltspannung genau beobachten und regulieren kann. Gibt man einzelne Entladungen mit der Wippe, so entspricht das der Schließung eines galvanischen Stromes. Die Serienentladungen stehen in ihrer Anwendung derjenigen des faradischen Stromes sehr nahe.

Bisweilen kombiniert man den galvanischen Strom mit dem faradischen oder dem sinusoidalen. Die Methodik dieses Verfahrens bietet nichts Neues.

68. Die Methoden der Franklin- und d'Arsonal-Ströme. Die hochgespannten Ströme werden entweder dem Körper direkt mit feuchten Elektroden zugeführt, wie der galvanische Strom, oder häufiger durch trockene Elektroden, derart, daß sich zwischen der Elektrode und der Haut eine Funkenstrecke bildet. Je nach der Größe und Kraft dieser Funken unterscheidet man Funken- und Büschelentladungen.

Für die Hochfrequenzströme kommen außerdem noch in Betracht die sogenannte Autokonduktion, bei welcher der Patient sich im Inneren einer großen Drahtspule (Käfig) befindet, welche vom Strom durchflossen wird, und die Anwendung des sogenannten Kondensatorbettes, welches aus einer großen Metallplatte besteht, welche mit einem isolierenden Ueberzug versehen ist auf welchen der Patient sich legt. Der eine Pol wird mit der Metallplatte, der andere mit dem Patienten direkt verbunden, so daß dieser gewissermaßen die eine Belegung einer Leydener Flasche bildet (Fig. 150).

Diesen Methoden wird von manchen Autoren eine große Allgemeinwirkung zugeschrieben. Doch sind diese Wirkungen vorläufig noch viel zu zweifelhaft, um einen großen praktischen Wert zu haben. Dasselbe gilt von der allgemeinen Methode der Franklinisation, dem sogenannten Franklinschen Bade, wobei der Patient isoliert und durch Büschelausströmungen geladen wird, so daß sich sein Haar sträubt.

Wichtiger sind die lokalen Methoden (Funken- und Büschelentladungen). Sie bilden einen sehr gut dosierbaren eigenartigen Hautreiz. Durch Franklinsche Funkenentladungen lassen sich auch Muskelkontraktionen auslösen.

Vor allem bilden aber Hochfrequenzströme, mit der Kondensatorelektrode angewandt, ein noch viel zu wenig gewürdigtes ausgezeichnetes Mittel zur Behandlung mancher Hautkrankheiten [14]), wobei offenbar die Ozonwirkung, die Hitze und die Ultraviolettwirkung und die mechanische, reizende Wirkung der Funken Hand in Hand gehen.

Auch bei der Behandlung innerer Leiden, und besonders der Phthise, werden diese Ströme angeblich häufig mit Erfolg verwendet, doch sind die Akten hierüber noch nicht geschlossen.

Literaturverzeichnis.

Ostwald, Elektrochemie. Leipzig. — Nernst, Theoretische Chemie. Stuttgart 1904. — Cohen, Vorträge für Aerzte über physikalische Chemie. Leipzig 1901. — Guttmann, Elektrizitätslehre für Mediziner. Leipzig 1904. — Zacharias u. Müsch, Konstruktion und Handhabung elektromedizinischer Apparate. Leipzig 1905. — Denoyés, Les courants de Haute Fréquence. Paris 1902.

1) Frankenhäuser, Die Leitung der Elektrizität im lebenden Gewebe. Berlin 1898. — 2) Rabe, Mražeks Handbuch der Hautkrankheiten, I, 125. — 3) Leduc, Die Ionen- oder elektrolytische Therapie. Leipzig 1905. — Frankenhäuser, Das Faradaysche Gesetz in der Elektrotherapie. Zeitschr. für klin. Med. XLI, 1900. — 4) Du Bois-Reymond, Untersuchungen, II, 1, S. 385 f. — 5) Ostwald, Zeitschr. für physikal. Chemie 6, 71 [1890]. — 6) Engelmann, Protoplasmabewegungen. Hermanns Handbuch der Physiologie, I, 364. — 7) Tigerstedt, Lehrbuch der Physiologie des Menschen, 2. Aufl. Leipzig 1905, Bd. 5, 58 ff. — 8) Lewandowski, Zur Elektrotherapie der Narben. Wiener med. Presse 1895, Nr. 2. — 9) Dubois, Ueber den galvanischen Reiz. Zeitschrift für Elektrotherapie 1899, I. — Schnyder, Der Leitungswiderstand des Körpers. Ebenda 1899, IV. — 10) M. Bernhardt (Berlin), Ueber magnetelektrische und sinusoidale Ströme. Neurol. Zentralbl. 1904, Nr. 15 und 16. — 11) Leduc, La narcose électrique. Zeitschr. für Elektrotherapie 1903, Nr. 11 u. 12. — 12) Zanietowski, Neue Gesichtspunkte zur Zukunft der Kondensatorfrage. Zeitschrift für Elektrotherapie 1903, XII. — 13) Eulenburg, Ueber die Anwendung hochgespannter Wechselströme. Zeitschr. für Elektrotherapie 1901, VIII. — 14) Oudin, Wirkungsweise des Wechselstromes und der hochgespannten Ströme bei Erkrankungen der Haut und der Schleimhäute. Monatsh. für prakt. Dermatologie 26, 4.


Physikalische Therapie.
700
P57
no.7
1906
68668
DATE DUE
NAME
9-41-3M

